Э. С. ЗЕЛИКОВИЧ

СВЕТ и цвет

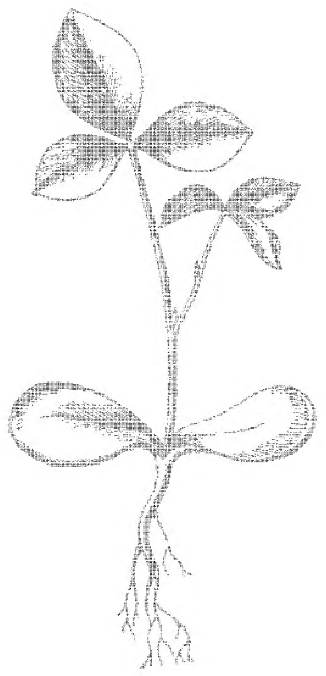
ГОСКУЛЬТПРОСВЕТИЗДАТ

Э. С. ЗЕЛИКОВИЧ

СВЕТ и цвет

Беседы о значении, явлениях и природе света и цвета

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
КУЛЬТУРНО-ПРОСВЕТИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Москва—1950



СВЕТ ТВОРИТ ЖИЗНЬ

Цвет жизни

Мы приглашаем вас, читатель, совершить в воображении ряд разнообразных путешествий, вплоть до фантастических.

Сначала облетим нашу планету: обследуем ее прекрасную флору — мир растений.

Мы посещаем север и далекий юг, тропики и знойный экватор; осматриваем леса и луга, сады и огороды; подымаемся на горы и спускаемся на дно океанов. Что же мы видим?

Богатейшее, бесконечное разнообразие окраски и оттенков ягод, цветов, овощей и плодов. Но нигде мы не встречаем ярко-красной, как маков цвет, травы или дерева с синей, подобной синьке, листвой.

Листья и травы, хвоя и колосья, когда они жизнедеятельны, всюду лишь зелены. И всюду пестрому обществу ягод, цветов, овощей и плодов неизменно сопутствует все та же зелень листа.

Случайно ли это «зеленое однообразие» на всей земле?

Оно не может быть случайным. Слишком «настойчивый» и всеобщий характер у этого явления. Тут должно быть скрыто что-то важное, делающее зеленый цвет в мире флоры жизненно необходимым. Долгое, очень долгое время это «что-то» оставалось загадкой. Исследовал и до конца раскрыл ее наш знаменитый ученый К. А. Тимирязев.

Чтобы постичь разгадку, отметим одно обстоятельство.

Человек питается животными и растениями, а животные поедают растения и друг друга. Но те из них, которые служат пищей для других, питаются опять-таки растениями. Легко проследить, что все виды питания человека и животных сводятся в конечном счете только к растениям.

А чем питаются растения?

Воздухом. На первый взгляд это звучит странно, но это именно так. В воздухе содержится основное, необходимое для всего живого, вещество — один из химических элементов, о ко-

торых у нас речь будет особо, — углерод. Всякий хорошо знаком с ним: различные угли состоят почти из чистого углерода.

Углерод легко соединяется с другим, не менее важным для жизни химическим элементом — кислородом. Кислород входит в состав очень многих веществ, в первую очередь — воды и воздуха. Наш организм нуждается в постоянном притоке кислорода, который он получает из воздуха. Для этого мы дышим.

Соединение различных веществ с кислородом, то есть «окисление», может протекать очень бурно и быстро, с выделением больших количеств тепла и света. Возникает «огонь», вещество «горит». Таким образом, горение — это быстрое, бурное окисление. Из горящего вещества вылетают мириады мельчайших раскаленных частиц. Рои этих горячих светящихся частиц и представляют собой пламя, огонь.

Другой вид соединения веществ с кислородом — различного рода прокисание, образование на железе ржавчины, на меди — зелени и тому подобное. Тут окисление протекает медленно и далеко не так бурно, как при горении.

Углерод и кислород могут соединяться в различных пропорциях. Одно из их соединений представляет «углекислый газ». Он образуется, например, при горении угля, а также и при дыхании. Кислород, поступающий из воздуха в человеческий организм через легкие, частично соединяется с углеродом крови. Получившийся углекислый газ мы выдыхаем. Здесь, как в случаях с железом и медью, окисление протекает медленно, спокойно. Но, поскольку в результате и горения и дыхания образуется один и тот же продукт — углекислый газ, то дыхание можно считать медленным горением.

В сутки человек выдыхает в среднем 0,8 килограмма углекислого газа, а в год — около 300 килограммов. Население земного шара составляет сейчас примерно $2^1/_4$ миллиарда человек. Следовательно, за год человечество выделяет в атмосферу более 650 миллионов тонн углекислого газа.

Этот подсчет приводит к неожиданному выводу: в атмосфере уже давно не должно было бы остаться ни одного грамма чистого кислорода, без которого невозможна жизнь ни людей, ни животных... Нелепый вывод! Но к нему приводит точный и убедительный язык цифр. Ведь известно, сколько примерно времени существуют человек и фауна — мир животных. Поэтому нетрудно рассчитать и примерное количество углекислого газа, которое они выделили за миллионы лет в атмосферу. Оно должно превосходить вес самой атмосферы...

Больше того: четыре пятых воздуха составляет азот — газ, который в горении не участвует и для дыхания не нужен. Это значит: кислорода для человечества и фауны нехватило бы и в том случае, если бы атмосфера была даже в пять раз обширнее.

Но ведь в действительности все это не так! В действительности, скажете вы, миллиарды людей и животных жили и живут, дышали и дышат; в действительности наш земной воздух — горный, лесной, полевой, морской — превосходен! Известно, скажет химик, что в воздухе 21 процент кислорода и что это количество остается неизменным; известно, что углекислого газа в нем всего 0,03 процента и что...

В чем же дело?

Очевидно, кто-то систематически очищает и в течение многих миллионов лет непрерывно очищал атмосферу от углекислого газа. Иначе, как примирить жестокий расчет с фактами? Можно даже с уверенностью сказать, в чем именно должна заключаться животворная работа нашего покровителя: в разложении углекислого газа с выделением чистого кислорода.

Эту работу выполняют растения. Процесс их питания прямо противоположен нашему дыханию: из содержащегося в воздухе углекислого газа они поглощают углерод, возвращая кислород атмосфере.

Значит, человечество и фауна не могли бы существовать без растений не только из-за отсутствия пищи: без растений им нечем было бы дышать.

А без света растения не в состоянии были бы разлагать углекислый газ — не могли бы питаться. Короче говоря, без света не существовало бы флоры.

Способность же растений разлагать углекислый газ связана с их зеленым цветом. Следовательно, мы обязаны этому цвету тем, что земля не представляет собой безжизненной пустыни.

Но почему для разложения углекислого газа растениям нужен свет? И что за роль играет тут зеленый цвет?

О „самом ясном“

Десятки лет изучал Климент Аркадьевич Тимирязев питание растений — то загадочное, что происходит в зеленом листе. Десятки лет исследовал он скрытые от глаз процессы, бесконечно совершенствуя способы наблюдений, которые он проводил удивительно тонко, точно и с исключительным мастерством.

До конца вырвав у зеленого листа его тайну, этот замечательный русский ученый сделал крупнейшее открытие. О трудах Климента Аркадьевича написаны многие книги. Мы коснемся только краешка этой огромной области знания, и то лишь поскольку она имеет отношение к свету.

Итак, перед нами зеленый лист. Он зелен, потому что в нем имеется красящее вещество, хлорофилл, способное поглощать красные и оранжевые лучи солнца.

Это звучит парадоксально, то есть резко противоречиво здравому смыслу, общепринятому мнению. Но под понятием «парадокс» (слово греческого происхождения) может подразумеваться и только кажущееся противоречие. Это подтвердит зеленый лист, поглощающий красные и оранжевые лучи.

Откуда, однако, берутся эти лучи? Ведь солнечный свет — белый! Далее: что значит «поглощать лучи»? Как это происходит, в чем выражается? И почему именно красные и оранжевые? Кстати, что такое «красный», «оранжевый», «зеленый»? Наконец, от чего вообще зависит различие цветов?

Такое, казалось бы, обыкновенное, простое явление — цвет... А объяснить его далеко не просто. За самым обычным, окружающим нас, кроется много замечательного — только притупляющая сила привычки мешает осознавать это: привычное большей частью не возбуждает вопросов. И заслуга великих ученых в том, что они не только объясняют явления, но прежде всего подмечают в «простом» и обычном проявление господствующих в мире законов.

Мы столкнулись с вопросом окраски световых лучей. Но что представляют собой самые эти лучи? Короче говоря, что такое свет? Это — старый, очень старый вопрос... О нем размышляли с древнейших пор величайшие мудрецы, над ним веками ломали себе голову ученые, им непрерывно занимаются до сих пор крупнейшие физики современности.

И все же до конца природа света еще не раскрыта, хотя сейчас о ней известно уже очень много. Свет оказался гораздо загадочнее звука, запаха и всего другого, что действует на наши органы чувств.

Светло! Это настолько обычно и привычно, что кажется ясным ребенку. Но что значит «светло»? Что возникает при этом явлении в пространстве?

Возникает нечто таинственное. Оно противоречиво и парадоксально: неощутимо, хотя и воспринимается глазом, неуловимо, хотя на него отзываются приборы; оно самое очевидное в буквальном смысле слова и вместе с тем это «оче-видное» — невидимо!.. Оно самое ясное на свете, — недаром же говорят: «Ясно, как свет». И одновременно — одно из наиболее неясного в науке.

Оно самое известное, потому что всякий, кроме слепого от рождения, прекрасно знаком с ним; каждый ребенок, появившись «на свет», воспринимает его. И вместе с тем это известное далеко не известно, если даже ученый не знает до конца того, благодаря чему он видит!

Флора привела нас к царству света. Но ключ к нему хранится в краях радио. Туда мы и направимся сейчас.

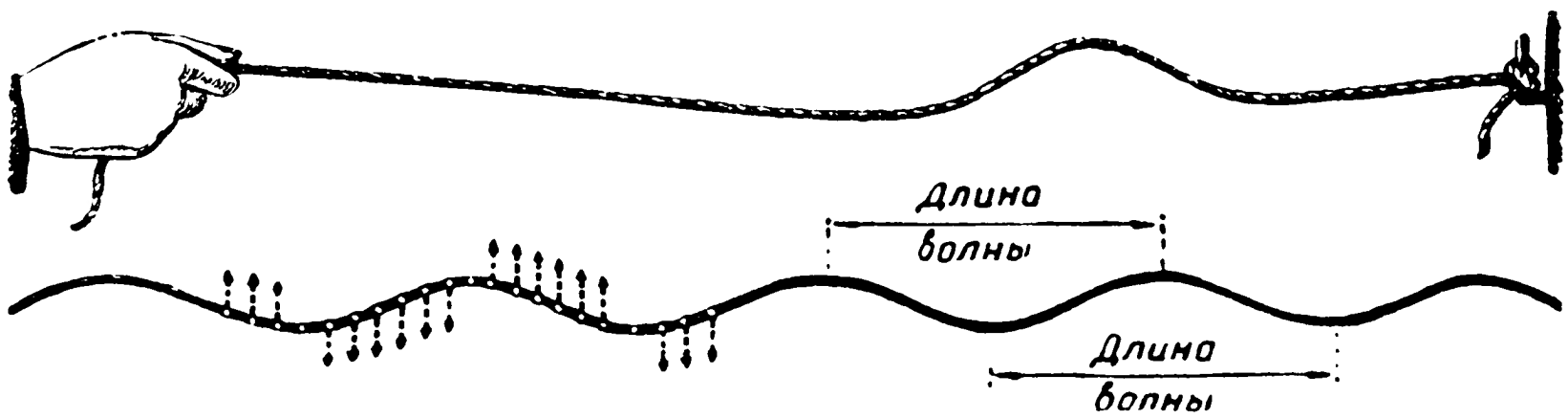
В поисках ключа

Вы включаете радиоприемник и слушаете по желанию оперу из Ленинграда, концерт из Таллина, футбольный матч на московском стадионе, киевский хор, лекцию из Казани... Что же позволяет вам подчинять своей воле это научно-техническое чудо — мгновенно «перебрасывать» свое ухо из Москвы в Ташкент, из Владивостока в Тбилиси, из Варшавы в Прагу?

Настройка. Поворачивая рычажок на приемнике, вы «настраиваетесь» на волны различной длины.

Понятие радиоволн прочно вошло в быт, и все мы давно освоились с ним Оно стало настолько обычным и привычным, что ни у кого не возникает сомнений в существовании радиоволн, хотя их не видно, не слышно и невозможно потрогать. Но потрогать нельзя и воздух, нельзя увидеть тепло или услышать электрический ток.

Правда, воздух, тепло и электричество можно ощущать, а ра-



Волна бежит, а веревка остается на месте. Волна бежит вдоль нее, колеблются же части веревки в поперечном направлении.

диоволны никак не воспринимаются органами чувств. Но ведь и магнитные силы совершенно не влияют на эти органы: они и не светят, и не звучат, и не греют, и не пахнут. Однако, действуя в электромагнитах, они поднимают многотонные глыбы железа.

Что же представляет собой «радиоволна»? И что такое вообще «волна»?

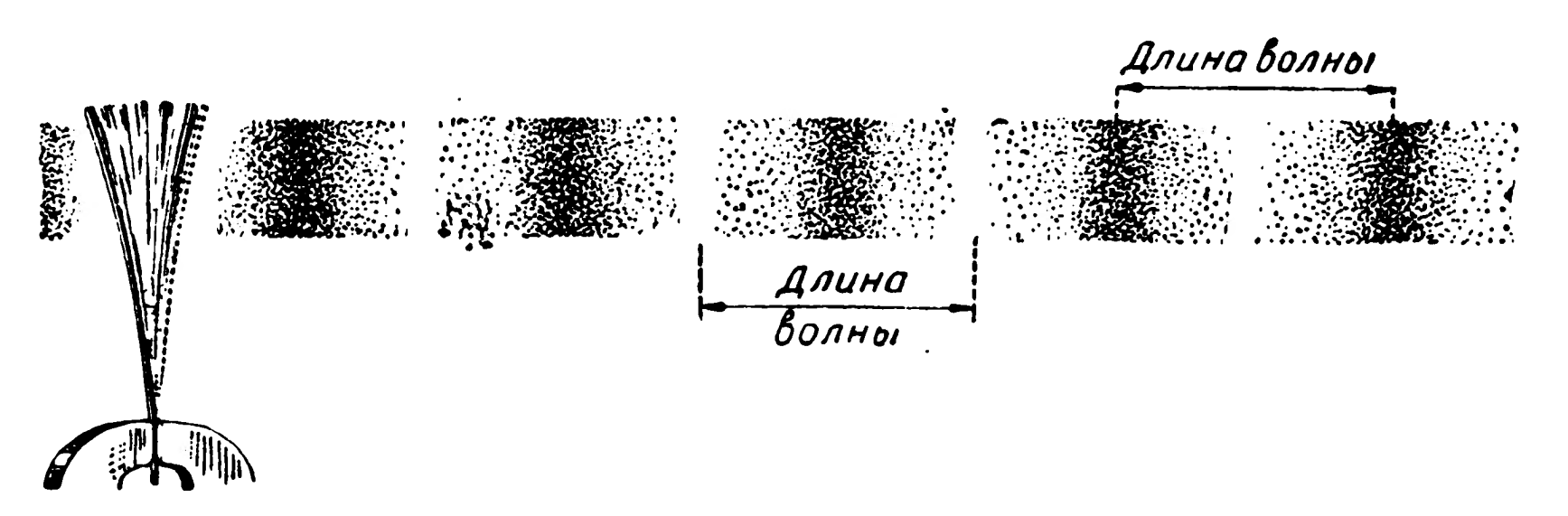
При этом слове в воображении возникает образ волнующегося моря, озера, пруда, реки. Но волны бывают не только водяные: порывы ветра вызывают волны в траве и на полях ржи, пшеницы. Еще один пример: привяжите к гвоздю в стене веревку и, зажав ее свободный конец в руке, отойдите от стены. Трясите веревку, и по ней побегут волны.

Отметим важное обстоятельство: волны «бегут», а среда, в которой они возникают (веревка, рожь, трава, вода), остается на месте. Это значит: при волнении и вода, и рожь, и веревка хотя и движутся, но никуда не уходят. Вода остается в пруду, ко-

лосья — прочно в почве, а веревка — привязанной к стене. Что же за «движения на месте» они совершают?

Колебательные. Мы хорошо знакомы с подобными движениями: они совершаются туда и обратно. Так можно качаться на стуле, не сдвигаясь с одной точки пола; так движется, не сходя с места, и часовой маятник. Вот волна подбрасывает на пруду щепку. Поднимаясь и опускаясь, щепка только следует колебаниям частиц воды. Тем самым, между прочим, она показывает их направление.

Обратим внимание на это обстоятельство: волны на воде бегут горизонтально — вдоль ее поверхности, а щепка движется



Колеблющаяся пластинка «волнует» воздух — возбуждает в нем попеременно быстро следующие друг за другом сгущения и разрежения. Это — продольные волны. Ударяя в органы слуха, они вызывают в них ощущение звука. Мы слышим музыкальный тон.

вертикально — поперек этой поверхности. То же мы видим и на веревке: колебания совершаются не вдоль нее, а поперек. В таких случаях волны называются поперечными.

А колосья колеблются в том же направлении, в каком бегут волны: они наклоняются вперед и назад. Похожее может происходить в ряду из нескольких, поставленных вплотную, человек. Если толкать крайних, каждый будет давить на следующего. Толчки волнами побегут через ряд, однако люди останутся на своих местах. Их движения будут лишь колебательными, причем колебания распространятся не вверх, вниз или в стороны, а вдоль ряда. Тут мы имеем дело с продольными волнами.

Мы уже знаем, что не всегда волны бывают, как на воде и веревке, видны. Это относится в первую очередь к воздушным волнам, поскольку их среда — воздух — невидима. Так, если зажать в тисках край какой-нибудь упругой пластинки, а свободный ее край отвести в сторону и отпустить, то пластинка будет несколько мгновений колебаться. Ее колебания вызовут быстро следующие друг за другом невидимые воздушные волны. Но хотя они и невидимы, мы все же немедленно обнаружим их.

Для приема таких волн природа снабдила нас специальной аппаратурой — органом слуха. Достигнув этого органа, волны вызовут у нас ощущение звука: мы скажем, что колеблющаяся пластинка «гудит». По той же причине гудит, например, летящий шмель и пищит комар: их крылышки — это быстро колеблющиеся пластинки.

40 000 в секунду

В наших руках уже целая связка ключей, но нужный еще не подобран. Продолжим поиски — изучение природы волн. Погрузим в пруд палку и будем водить ею, с разной скоростью, туда и обратно. Что же мы замечаем?

Чем чаще движения палки, тем чаще возникают волны и меньше расстояние между ними. Будем мерить его между одинаковыми частями смежных волн, например между гребнями (наиболее высокими местами) или ложбинами (впадинами). Это расстояние называется длиной волны.

Упругие пластинки, крылья насекомых, струны и другие тела могут колебаться реже и чаще. Чем больше частота, то есть число колебаний в секунду, тем короче, как в примере с палкой в пруду, волны. И тем тоньше — в ы ш е звук.

Звуковыми волны становятся при полутора десятках колебаний в секунду. Это — самые низкие басовые тона, гудение, гул. У наиболее высоких звуков, например у тончайшего мышиного писка, колебания исчисляются тысячами в секунду. Вне этих частот воздушные волны не воспринимаются нами как звук. Слуховые органы — аппаратура с настройкой в известных пределах. На волны, длина которых выходит за эти пределы, она не может отзываться. В этом отношении органы слуха похожи на радиоприемник.

Волны на пруду и веревке нетрудно измерить, потому что они видны. Но как определить длину воздушных волн?

Она легко вычисляется. Для этого, во-первых, нужно знать скорость, с какой звуковые волны распространяются в воздухе. Эта скорость равна примерно 340 метрам в секунду. Она одинакова для звуков всех высот, то есть волн разной частоты и, следовательно, длины. Если бы это было не так, то по мере удаления от нас оркестра одни звуки все больше отставали бы от других, и вместо музыки мы услышали бы звуковой хаос. На деле же этого не бывает.

Во-вторых, нужно установить число волн, возникающих в секунду. Оно равно числу колебаний, скажем, пластинки, вызывающей эти волны. Сосчитать же ее колебания довольно просто. Для этого достаточно прикрепить к пластинке стрелку, острие

которой касается вращающегося барабана. Барабан должен быть покрыт сажей.

Таким образом, во время звучания пластинки стрелка будет чертить на саже извилистую линию. Число извилин и покажет число колебаний пластинки.

Вычислим длину волны одного из самых низких звуков, доступных уху. Если число колебаний равно, скажем, 17, то через 1 секунду после начала звучания в воздухе возникнет 17 волн. Они распространятся на расстояние, которое звуковые волны проходят в секунду, то есть на 340 метров. Значит, на протяжении 340 метров уложатся 17 волн. Разделив 340 метров на 17, найдем, что длина одной волны равна 20 метрам.

Число колебаний наиболее высоких звуков достигает 40 тысяч в секунду. В этом случае имеем:

340 метров : 40 000 = 0,85 сантиметра.

Итак, длина воздушно-звуковых волн заключается в пределах примерно от двух десятков метров до одного сантиметра.

Что, однако, общего между картиной звука и явлениями на воде и веревке?

Правильно ли и то, что происходит вокруг звучащего тела, считать и называть волнами?

Да, правильно. Картина звука напоминает пример с рядом людей. Колеблющаяся пластинка давит — давит отдельными толчками — на воздух.

Однако дело здесь несколько сложнее, поскольку воздух сжимаем. Вследствие этого пластинка вызывает в окружающих ее воздушных массах попеременно сгущения и разрежения, которые распространяются все дальше. Самые же массы воздуха, как вода и веревка, остаются на месте.

У каждого из случаев, которые мы рассмотрели, свои особенности. Но главные из них, основные — одни и те же, а именно: возникают одинаковые, повторяющиеся явления, будь то повышения и понижения поверхности воды, извилины веревки или сгущения и разрежения воздуха. Возникают они периодически— через определенные промежутки времени — и распространяются в какой-то среде. При этом сама среда никуда не перемещается: движение ее частиц колебательное.

То, что распространяется, мы и называем «волной». К тому, как протекает процесс распространения, будем применять слово волнообразно.

А каковы звуковые волны — продольны они или поперечны?

Очевидно, продольны: под ударами пластинки частицы воздуха колеблются в том же направлении, в каком распространяются волны.

Загадка света

Нужный ключ мы обнаружим сейчас с помощью магнита.

Известно, что магнит притягивает некоторые металлы; магнитная стрелка, как бы «чувствуя» его на расстоянии, поворачивается к нему одним из своих концов.

Электричество также действует на магнитную стрелку: если держать возле нее провод, по которому проходит электрический ток, стрелка займет определенное положение.

Приближаясь к замкнутому проводу, магнит возбуждает в нем ток. И наоборот: электрический ток намагничивает железо. Кусок железа, обернутый проволокой, по которой проходит ток, называется электромагнитом.

Мы видим, что магнитные и электрические явления имеют много общего. Назовем их общим словом: «электромагнитные».

Поместим теперь вблизи магнитной стрелки провод, по которому пропустим на мгновение электрический ток. Стрелка дрогнет и успокоится. Если включать и выключать ток периодически, много раз, то каждый раз стрелка будет «вздрагивать».

Отчего же она отзывается на ток? Ведь он проходит в проводе, с которым она никак не связана!

Очевидно, от провода что-то исходит, распространяется в пространстве и, достигнув стрелки, действует на нее. Направляясь во все стороны от провода, это незнакомое нам пока «что-то» рывками, периодически, выводит стрелку из покоя, вследствие чего она и колеблется.

Не напоминают ли слова «распространяется», «периодически», «колеблется» нечто уже хорошо нам известное?

Несомненно! Картина действия тока на стрелку явно подходит под процессы, к которым мы условились применять слово «волнообразно». Это дает нам право утверждать, что на стрелку действуют какие-то волны. Но какие?

Вот тут-то и начинается таинственное... Но оставим сейчас в стороне вопрос, что эти волны представляют собой. Дадим им пока только имя. Самым подходящим, поскольку мы имеем тут дело с электрическим током и магнитной стрелкой, будет, естественно, такое имя: «электромагнитные». Посмотрим, какою может быть длина этих волн.

Для освещения больших городов обычно пользуются «переменным» током в 50 «периодов» в секунду. Это значит: в течение каждой секунды ток проходит по проводу 50 раз туда и обратно, то есть совершает 50 колебаний. Следовательно, осветительная сеть ежесекундно посылает в пространство 50 электромагнитных волн.

Скорость распространения этих волн хорошо известна — ее

неоднократно измеряли. Она невообразимо велика: 300 000 километров в секунду. Таким образом, длина электромагнитных волн, возбуждаемых осветительной сетью, должна равняться

300 000 км : 50 = 6000 километров.

Но не слишком ли далеко мы ушли от вопроса, «что такое радиоволны»?

Наоборот, мы как раз подошли к нему: радиопередатчик излучает электромагнитные волны.

Интересно подсчитать их частоту. Наиболее длинные радиоволны измеряются километрами. Примем для расчета длину в 1 километр. Тогда частота, то есть число колебаний в секунду, а тем самым число возникающих в секунду волн, составит:

300 000 км : 1 км = 300 000.

При волне в 100 метров частота и число волн в секунду будут равняться 3 миллионам, в 10 метров — 30 миллионам и в 1 метр — 300 миллионам.

Представляете ли вы себе это число? Если бы каждое колебание продолжалось одну секунду, то 300 миллионов колебаний продлились бы почти десять лет.

Луч света — это ряд электромагнитных волн, подобных тем, какие излучает радиопередатчик.

Теория и опыт бесспорно утверждают, что световые и электромагнитные явления подчиняются одним и тем же законам. Отсюда вытекает, что свет — явление электромагнитное.

Но радиоволны привычнее световых; пользуясь радио, всякий освоился с ними. А понятие волн — это азбука учения о свете. Вот почему мы шли в царство света через владения радио.

Первый шаг сделан. Но после первого же шага мы наталкиваемся на загадку:

электромагнитные волны распространяются не только в различных веществах, но и в совершенной пустоте.

Что такое „цвет“

Волны — это колебания вещества какой-то среды: колосьев, веревки, воды, воздуха, травы — чего угодно, но чего-то! Если все убрать и ничего не оставить, в чем же тогда волнам возникать? Казалось бы, — не в чем.

Это представляется очевидным, бесспорным. И все же нашлись какие-то волны — необыкновенные, но порождающие обыкновенное явление, — которые существуют в пустоте!.. Вот тут-то «ясный свет» и становится совершенно неясным.

Вы видите эту книжку, видите страницы, строки, слова, буквы. В темноте все исчезает из глаз. Что-то происходит, что-то исчезает из пространства. Что же имеется в нем, когда вы видите?

Сейчас, конечно, нам не взять эту крепость — мы еще только перешагнули рубеж незнакомого мира. Обойдем ее и выясним сначала другой — первоочередной вопрос: если радиоволны подобны световым, то почему они не светят? Значит, чем-то они все-таки отличаются от световых. Чем же именно?

Длиной — и только. Радиоволны измеряются сотнями метров, а световые — десятыми долями микрона; микрон (от греческого слова «микрос», что значит «маленький») — это тысячная часть миллиметра.

Таким образом, радиоволны в среднем в миллиард раз длиннее световых. Если световую волну представить листком тончайшей папиросной бумаги, то радиоволна окажется высочайшей из гор.

Почему же радиоволны не светят?

Потому, что зрительные органы, подобно слуховым, отзываются на волны только определенной длины: примерно от 0,40 до 0,74 микрона. Только в этих границах электромагнитные волны вызывают у нас ощущение света.

Для наглядности вообразим себя обладателями аппарата, способного излучать электромагнитные волны любой заданной длины. Мы настраиваем этот аппарат на волну в 0,30 микрона, ставим его в темную комнату и приводим в действие. Комната попрежнему остается темной. Тогда мы начинаем медленно увеличивать длину волн. Что же происходит?

Когда стрелка волномера приближается к числу 0,40 на шкале, тьма постепенно рассеивается. С дальнейшим удлинением волн свет становится все ярче. Затем, достигнув наибольшей величины, он начинает тускнеть. Вот стрелка дошла до 0,72 и переходит за 0,73 микрона. Свет исчезает и более не появляется: электромагнитные волны стали недоступны зрению, они уже не действуют на глаз. Мы снова в непроглядной тьме.

Во время этого воображаемого опыта обнаружилось бы совершенно неожиданное, замечательное явление. Можно было бы подумать, что появившийся свет нарастал, тускнел и исчез так, как это бывает с утра до вечера со светом солнца. Нет, совсем не так!

Сначала возник бы слабый фиолетовый свет; постепенно усиливаясь, он перешел бы в синий, а синий — в голубой, зеленый, желтый... Последние два были бы наиболее яркими. Потом желтый стал бы оранжевым, красным, багровым, темновишневым... Как бы чернея, темновишневый уступил бы место тьме.

Резких границ между цветами не было бы: плавно переходя друг в друга, они переливались бы множеством оттенков — промежуточных цветов. При этом обыкновенный белый свет полностью отсутствовал бы, его никак не удалось бы получить!

В пределах трети микрона

Итак, цвет зависит от длины и связанной с нею частоты волн. Ведь мы изменяли только их частоту и тем самым длину. Можно то же самое сказать иначе: световые волны различной длины вызывают в зрительных органах ощущение различных цветов. Или еще иначе: вызывают особое различие ощущений, которое называется цветовым.

Наш воображаемый опыт дал хороший пример перехода количества в качество: различие в длине и частоте волн — количественное, а в цвете — качественное. Первое вызывает второе. Табличка покажет, что чему соответствует:

Частота в тысячах миллиардов	Длина волны в микронах	Цвет
460	0,65	Красный
490	0,61	Оранжевый
530	0,57	Желтый
580	0,52	Зеленый
625	0,48	Голубой
670	0,45	Синий
730	0,41	Фиолетовый

Это — только средние числа для основных цветов, каждый из которых имеет множество оттенков. Таким образом, если с изменением длины и частоты волн у звука меняется высота, то у света — цвет. Переводя световые явления на «язык звука», можно сказать, что фиолетовый цвет — это «световой писк» или свист, а багровый и темновишневый — «световой гул», гудение.

Мы видим, что длина световых волн заключена в очень узких границах: «весь свет», о котором написаны тысячи книг и над чьими тайнами бились и бьются величайшие ученые, «укладывается» всего в ⅓ микрона. Невообразимо ничтожная величина... Куда световым волнам до радиовеликанов!

Однако благодаря именно им на земле существует жизнь, процветает во всем ее многообразии человеческая деятельность и человек познает мироздание. Не справедливее ли будет обратное восклицание: куда радиоволнам до световых!

При длине волн в 0,40 микрона частота их составляет 750 000 000 000 000. Подумайте: эти слова вы видите сейчас благодаря явлению, порожденному сотнями тысяч миллиардов колебаний в секунду. Уделите каждому из них по целой секунде, и они продлятся уже не десять лет, как в случае с радиоволнами длиною в 1 метр, а миллионы лет.

Не менее удивительны расстояния, покрываемые световыми волнами. Вы видите не только эти слова — вы можете видеть и звезды. А звезды так далеки, что волны света бегут от них до нас годы, сотни и тысячи лет. И это — при скорости в 300 000 километров в секунду!

Как тонки наши зрительные органы, как чувствительно цветовое зрение! В пределах ⅓ микрона заключен целый мир — богатейший радужный мир, сверкающий великолепием множества красок и оттенков.

Не замечательно ли, что достаточно удлинить загадочную электромагнитную волну на 4 сотых доли тысячной части миллиметра, и голубое превратится в четко отличимое от него зеленое?

Однако, как мы уже знаем, различие в длине световых волн вызывает не только приятное разнообразие, оно выражается не только в «ласкающей взор» многоцветности. Зеленый лист дал нам одно из доказательств того, что в этом различии есть глубокий смысл. Он показал, что за внешней красотой окраски кроется внутреннее содержание, значение которого может быть неоценимо велико.

Когда очевидное невидимо

Уже в «азбуке» учения о свете мы находим ответ на вопрос почему мы вообще видим при свете окружающий нас мир.

Если этот вопрос относится, например, к огню или раскаленному волоску электрической лампы, то причина проста: они излучают электромагнитные волны; попадая в наш глаз, соответствующие волны вызывают зрительные ощущения.

Однако мы видим не только огонь и раскаленные тела, а десятки и сотни предметов, которые световых волн не излучают, то есть не светят.

Да, не светят, но о т р а ж а ю т свет. Можно бросить мяч в стену непосредственно или сначала на пол, но так, чтобы, отскочив от пола, он попал в стену. Это будет отраженный удар. Следовательно, доступными зрению тела могут быть в двух случаях: они должны либо излучать, либо отражать световые волны.

Если бы электромагнитные волны не обладали способностью отражаться, зрение было бы бесполезным: кроме солнца и звезд,

мы ничего в мире не видели бы. Так же бесполезны были бы огонь и лампы: они ничего не освещали бы.

Конечно, нужны еще другие условия: чтобы быть видимыми, предметы должны быть достаточно велики и близки, достаточно освещены и так дальше. Но все эти условия — побочные, а мы рассматриваем явления света в основе.

Понятно, почему воздух невидим: он и не излучает и не отражает свет. Он «прозрачен». Это значит: лучи света свободно проходят сквозь него, или, если сказать иначе, — световые волны почти беспрепятственно распространяются в нем.

В дверях бывают стекла. Когда такие стекла хорошо пропускают свет и не «отсвечивают», они почти незаметны Но если раскалить эти стекла хотя бы докрасна, они будут излучать свет и станут поэтому видимыми.

А видим ли сам свет?

Странный вопрос! Однако, каким бы странным ни показался в первый момент ответ, он бесспорен: сам свет — невидим. Ведь свет — это то, что позволяет видеть. Не его мы видим, а лишь освещенные им или излучающие его тела.

Действительно, вглядитесь в окружающее вас пространство. Разве вы замечаете «наполняющий» его свет, как, например, замечаете туман? Нет, о присутствии света вы только заключаете из того, что видите предметы.

Но, можете вы возразить, я неоднократно наблюдал, как сквозь окно пробиваются косые лучи солнца, которые яркими пятнами ложатся на пол; в кино я всегда слежу за тем, как от проекционного фонаря тянутся через весь зал лиловатые лучи, образующие на экране картину. Ведь это не обман зрения, я действительно видел их!

Ошибаетесь, вы видели не их, а освещенную ими пыль. В одном кубическом сантиметре комнатного воздуха содержится круглым счетом два миллиона пылинок. Вы принимали за световые лучи мириады витающих в воздухе пылинок, которые попадались на пути лучей и отражали их.

Да, как это ни странно, «самое оче-видное» — невидимо.

Странные цвета

Проделаем с нашим воображаемым аппаратом новый опыт. Настроим его на волну в 0,65 микрона и пустим в ход. Он начнет излучать красный свет, и некоторые предметы покажутся красными. Переставим регулятор на 0,57 микрона, и те же предметы будут выглядеть желтыми, а при волне в 0,54 микрона — синими.

Очевидно, эти предметы отражают те лучи, которые падают на них. Когда на них падают, например, красные лучи, то они и представляются нам красными, так как они отражают лучи этого цвета.

То же самое происходит и при освещении их лучами других цветов.

Но взгляните на наши синие костюмы: при красном свете они выглядят вовсе не красными и не синими, а... черными! Красные же галстуки при синем свете — тоже черными! Что это за странный цвет — черный?

Из наблюдений над нашими лицами и потолком мы заключили, что цветные лучи, падающие на предметы, придают им соответствующую окраску. Но в таком случае при белом свете все должно было бы выглядеть белым. Однако кровь при белом свете красная, трава — зеленая, синька — синяя... Что это за странный свет — белый?

То, что белые предметы всегда приобретают цвет падающих на них лучей, — бесспорно. Следовательно, белое может отражать лучи любых цветов. А это означает, как мы сейчас увидим, что белый свет содержит в себе лучи всех цветов. Иначе каким образом различные вещества могли бы выглядеть при белом свете красными, синими, желтыми, зелеными? Раз они отразили лучи таких цветов, значит, лучи этих цветов должны были упасть на них.

Откуда же они взялись? Из белого света. Значит, они имеются в нем, значит, белый свет — это смесь лучей разных цветов, сочетание в какой-то пропорции электромагнитных волн всех световых длин.

Так вот почему наш аппарат не давал белого света! Он способен излучать в каждый отдельный момент волны только какой-нибудь одной, строго определенной длины, а не разных одновременно.

Можно нажать на рояле не один клавиш, а сразу десяток подряд. Получится смесь смежных по высоте звуков — близких по длине волн. Это даст неприятный, режущий ухо шум. «Белое», в переводе на язык звука, — «световой шум», но приятный для глаза.

Теперь становится понятным и цветовое многообразие в мире. Оно объясняется, очевидно, особыми, избирательными, как говорят, свойствами предметов: в силу своего строения различные вещества способны отражать световые волны не всех, а только каких-то одних, определенных длин. Частицы вещества как бы выбирают, «выхватывают» из белой «световой смеси» лучи некоторых цветов и, словно они неприемлемы для них, отбрасывают их: кровь — красные, лимон — желтые, синька — синие.

Парадокс хлорофилла

Среди окружающих нас веществ встречаются такие, как, например, мел, снег, сахар, которые «не принимают» лучей никаких цветов. Они отбрасывают световые волны всех длин. Поэтому при белом свете эти вещества белы, а при любых одноцветных или смешанных лучах они приобретают, как потолок во время нашего воображаемого опыта, окраску этих лучей. Отсюда вытекает, что «белое» — вовсе не цвет...

Действительно, ведь если трава, поскольку она отражает зеленый свет, зелена, а кровь, как отбрасывающая красные лучи, красна, то снег, способный отражать свет всех цветов, одновременно и зелен, и красен, и желт, и так дальше, то есть белизна представляет собой не цвет, а с м е с ь всевозможных цветов.

Другие вещества, как, например, сажа или уголь, наоборот, «принимают» волны всех световых длин; они неспособны отражать какие бы то ни было световые лучи. Следовательно, никакого света от них не исходит. А отсутствие света — это тьма, тьма же черна. Значит, и «черное» — не цвет.

Но почему же мы все-таки видим «черный цвет», если он и не излучает и не отражает свет?

По контрасту со всем окружающим его глаз замечает «световой провал», который свидетельствует о присутствии черного. Если же мы направили бы световой луч на абсолютно черный предмет в совершенной темноте, то предмет этот ничем не отличался бы от тьмы, вследствие чего он был бы невидим. Поэтому при слабом свете и трудно шить черную материю черными нитками, в то время как белую материю белыми нитками — легко.

Теперь понятно, почему наши костюмы выглядели при красном свете черными. Ведь они могут отражать только синие лучи, так что при красном свете им нечего отражать. А то, что не отражает никаких световых лучей, выглядит черным. По той же причине черными стали в синих лучах красные галстуки.

Кто не замечал, как трудно при искусственном свете — при обыкновенных лампах — распознавать синие и фиолетовые цвета? Они выглядят неестественными, почти черными; их нелегко различать, иногда даже невозможно разобраться в них. В то же время красные и желтые тона видны хорошо. В чем здесь причина?

Обратите внимание на свет ламп. Свет этот — желтый. Но не чисто желтый: он состоит из волн не одной определенной длины, а представляет «световую смесь», подобную белой. От белого же он отличен тем, что в нем сравнительно больше красно-желтых тонов, чем сине-фиолетовых. Оттого сине-фиолетовые цвета и «плохо видны» при свете обыкновенных ламп, то есть похожи на черные.

Что же происходит с лучами тех цветов, которые не отражаются непрозрачными телами? Если, например, тело отбрасывает красные лучи, то что оно делает с остальными?

Мы говорили до сих пор «принимает». Точнее будет — «поглощает». Из смеси, скажем, красных и зеленых лучей красные кровь отразит, а зеленые поглотит. Какая-либо зелень, наоборот, отразит зеленые (потому она и зелена), а красные...

Помните «парадокс хлорофилла»? Не ясно ли, что если хлорофилл отражает лучи, которые производят впечатление зеленых, то остальные, в том числе красные и оранжевые, он поглощает?

Парадокс раскрыт — противоречие, действительно, оказалось кажущимся. Но... для чего все-таки листу нужны красные и оранжевые лучи?

Чтобы проникнуть в этот секрет, заглянем еще раз в область питания.

Чем мы живы

Известно, что в столовых подают определенные блюда, например щи, жареную баранину с картофелем и компот из яблок. Но что бы вы сказали, если на вопрос — «какой сегодня обед?» — повар ответил бы: «электромагнитные волны»?..

«Я не ем электромагнитных волн», — сказали бы вы.

Но, заявим мы, то, что вы едите, порождено ими. И явились вы в столовую благодаря им!

Щи, хлеб, баранина, картофель, компот нужны вам для того, чтобы взять от них энергию. В этом значение питания. Если бы пищевые продукты не содержали энергии, они были бы несъедобны, непитательны, бесполезны.

А без энергии невозможно работать. Мало того: невозможно вообще жить. Без энергии все было бы мертво. Нетрудно убедиться в этом.

В быту под словом «работа» подразумевают полезную деятельность. Научное значение этого слова шире. Можно утверждать, что, начиная с момента рождения, люди и животные непрерывно работают в течение всей своей жизни. Мы работаем на прогулке — двигаем ногами и перемещаем свое тело; работаем, занимаясь спортом, играя в шахматы и даже беседуя с кем-нибудь о погоде. Производите работу, читая эти строки, и вы.

Ни на миг, даже во время сна, не прекращается работа внутри организма. Пока длится жизнь, работают, год за годом, все 24 часа в сутки, нервная система, сердце, легкие, пищеварительные органы. А нагрузка у них немалая. Знаете, чему равна суточная работа, например, легких человека? Работе лошади, доставившей коляску с седоками на расстояние в 2 километра!

Конечно, деятельность живых организмов выражается не только в механической работе. Явление жизни — очень сложное; механические процессы, хотя их участие и обязательно, занимают в нем скромное место. Однако все процессы, каковы бы они ни были, представляют собой ту или иную работу.

За счет чего же она производится живым организмом и внутри него?

За счет того, что называется «энергией». Без нее не возникнет ни одна мысль, не шелохнется ни одна пылинка.

Чтобы мотор работал, надо дать ему ток, то есть питать его электрической энергией. Для приведения в действие паровой машины необходимо нагреть в ее котле воду, то есть дать ей тепловую энергию. Тепло и электричество — наиболее распространенные виды энергии, в особенности тепло. Оно всегда и всюду, оно в нас и вокруг нас. Без тепла ничто живое не могло бы просуществовать и минуты.

Заметим, что электромотор получает нужную ему энергию непосредственно: его питают электрическим током. Паровая же машина работает за счет тепла, которое она получает от сжигания топлива.

Человеку и животным энергия достается не как электромотору, а как паровой машине. И энергию они получают ту же — тепло. «Посредником» служит тут пища: путем сложной переработки организмы людей и животных извлекают из нее нужную энергию.

Можно, таким образом, сказать, что топливо — это «пища» паровых машин, а пища людей и животных — «топливо» (в основном) для их организмов.

Слово за русским ученым

Продолжая экскурсию в области питания, мы замечаем очень важный факт: минеральные вещества непригодны в качестве пищи. Это — камни, руды, различные почвы, соли и другие вещества «мертвой» природы.

Наряду с минеральными существуют органические вещества — дерево, трава, шерсть, кожа, кости, мышцы и все остальное, составляющее живые организмы или сделанное из них.

В пищу годится только органическое «топливо», да и то далеко не всякое. Литра керосина, например, по его теплотворной способности, хватило бы для питания человека в течение 4 суток. Но ни керосин, ни уголь, ни дрова, хотя они и органического происхождения, не съедобны: люди и животные неспособны усваивать их, извлекать из них энергию.

Мы пришли однажды к выводу, что все виды питания человека и животных сводятся к растениям. А так как жизненная энергия черпается только из пищи, то, следовательно, растения представляют единственный источник этой энергии для людей и животных.

Растения, конечно, не движутся и не работают, как люди и животные. Но и в их организмах непрерывно протекают сложные жизненные процессы, то есть работа. А «из ничего — ничего не берется»: чтобы произвести работу, надо затратить энергию. И наборот: производя работу, мы получаем энергию, причем количество одного всегда строго соответствует количеству другого. Это — непреложный закон природы. Он может быть проверен на любом случае.

Например, паровоз совершает работу — движется и везет поезд — благодаря теплу, которое дает сжигаемый в топке уголь. На языке науки это значит: при соединении углерода с кислородом выделяется энергия (тепло). Следовательно, при обратном процессе — разложении углекислого газа на углерод и кислород — энергия должна, наоборот, поглощаться. Понятно почему: ведь разрыв крепко соединившихся частичек углерода и кислорода — это работа, которая требует затраты энергии.

И если прежде мы поставили вопрос: а чем питаются растения? — то теперь надо спросить: а откуда они получают энергию? Энергию, которая необходима им для жизни, в первую очередь — для разложения углекислого газа, то есть для питания?

От солнца.

Что же это за энергия?

Световая: энергия электромагнитных волн.

Энергия именно света позволяет зеленым растениям извлекать из углекислого газа углерод и усваивать его. Этот процесс называется «фотосинтезом» (от греческих слов «фос» — «свет» и «синтезис» — «соединение»). Вот что значит в мире флоры «поглощать лучи солнца».

Поглощается же свет хлорофиллом — зеленым веществом растений. Связь фотосинтеза с поглощением света хлорофиллом установил К. А. Тимирязев.

Но лучи разных цветов действуют в процессе фотосинтеза не одинаково энергично. К. А. Тимирязев показал, что те из них, которые хлорофилл поглощает, — самые энергичные в процессе фотосинтеза, а не задерживаемые хлорофиллом, отбрасываемые им, бездействуют в этом процессе.

Мощнее всех в процессе фотосинтеза — красно-оранжевые лучи. К. А. Тимирязев нашел, что лучи этой группы в процессе фотосинтеза вдвое энергичнее сине-фиолетовых. Зеле-

ные же, как оказалось, в этом процессе в четверо слабее красно-оранжевых. Вот почему именно их — зеленые — хлорофилл главным образом и отражает. И именно поэтому он, а с ним и листья, которым он придает свой цвет, зелены.

Итак, жизненно важный для флоры процесс — фотосинтез — связан с ее зеленой окраской, питаются же зеленые растения и выделяют в атмосферу кислород благодаря энергии света.

Следовательно, люди и животные также питаются и дышат за счет этой энергии. Таким образом, земля не представляет собой безжизненной пустыни благодаря именно свету.

Великий посредник

Временами недра земли извергают через вулканы горячее, расплавленное вещество; притяжение луны вызывает на наших морях и океанах приливы и отливы; некоторые металлы (их называют «радиоактивными») испускают различные лучи.

Все это — проявления различных видов энергии. Но, по сравнению с главным ее источником — с солнцем, все другие настолько ничтожны, что их можно не учитывать. Без солнца на нашей планете господствовал бы такой холод, что замерз и затвердел бы даже воздух. Скованная пластом ледяной атмосферы земля превратилась бы в мертвый шар. И уж ничто не шелохнулось бы на его гладкой, жесткой и пустой поверхности, над которой безраздельно царила бы вечная тьма.

Солнце щедро снабжает нас лучистой энергией, главные виды которой — свет и тепло. В течение миллиардов лет, без единой заминки, низвергаются они на землю мощными потоками электромагнитных волн, непрерывной чередой следующих сквозь 150 миллионов километров мирового пространства.

Итак, мы вправе утверждать: практически солнце — единственный источник энергии на земле. А фотосинтез — единственный процесс, посредством которого энергия солнца поступает в живые организмы.

Это энергия солнца живет и работает в нас, ею мы работаем и кормимся, дышим и мыслим. Мясо и рыба, молоко и масло, хлеб и сахар, фрукты и овощи, трава и листва — все, решительно все, чем питаются человек и животные, — не что иное, как аккумуляторы световой энергии, полученной из ее космического источника. С первого взгляда это представляется невероятным. Только ли света? Ведь все живое нуждается и в тепле.

Безусловно. При слишком низкой температуре жизненные процессы замирают. Тепло необходимо для согревания среды (воздуха, воды и почвы), в которой находятся живые организмы. Однако усваивать тепловую энергию непосред-

ственно они не могут. В тепле, но без света растения гибнут. А люди и животные неспособны поглощать и свет. Сколько бы энергии солнце ни изливало на них в самый ясный и жаркий день, лишенные пищи они погибли бы от истощения.

Только зеленые листья растений поглощают энергию света непосредственно. Чтобы «заряжаться» ею, им достаточно находиться на солнце. Поэтому в темноте растения не могут существовать. Если бы солнце излучало только тепло, не было бы фотосинтеза. Это свет творит жизнь.

Проверим еще раз: «только» ли? А воздух, вода, различные соли и многое другое, без чего жизнь невозможна? Ведь все это не связано со светом!

Бесспорно. Но все это — и не источники энергии. Только энергия света живет и работает в растении, в животном, в человеке!

Отчего же, в таком случае, мы называли пищу топливом и рассматривали ее лишь как источник тепла?

Оттого, что она дает живым организмам именно тепло. Но виды энергии могут переходить один в другой. Тепло в организме—это превращенная энергия света, заимствованная растениями от солнца в процессе фотосинтеза. Потому-то вещества, происхождение которых не связано с фотосинтезом, например минеральные, во всяком случае непригодны в качестве питания: в них, хотя они и необходимы живым организмам, нет энергии света.

Беспредельны роль света и его значение для жизни природы и общества. Окиньте мысленно взором сельскохозяйственную деятельность человека. Как сложна и многообразна работа земледельцев, агрономов, животноводов, огородников, рыболовов, садоводов, лесных хозяйств, молочных и птицеводческих ферм, пчеловодств... К чему же, в конечном счете, сводится вся эта деятельность?

В царстве света мы получаем очень короткий, но исчерпывающий ответ: к организации «живых установок» для улавливания, сбора и переработки электромагнитных волн — энергии света солнца.

При этом сельскохозяйственное производство не ограничивается продуктами питания. Взгляните, во что мы одеты, на чем сидим, лежим, спим, пишем, печатаем, чем отапливаем печи...

От одежды, мебели, постели, бумаги, дров и даже торфа, представляющего остатки растений, — прямой путь к фотосинтезу.

Но, быть может, вызывают сомнение другие виды горючего— каменный уголь и нефть, из которых получают бензин, керосин, масла и вырабатывают краски, пластмассы и множество других продуктов, находящих самое широкое применение?

Нет, для сомнений не остается места. И нефть — органического происхождения, и каменный уголь — остатки растений и животных, живших миллионы лет назад в лучах солнца... Так что энергия угля и нефти — это все тот же свет, но в «законсервированном» виде.

Итак, энергия, которая действует вокруг и внутри нас, есть энергия солнца. А то, в чем она содержится и действует, произошло и жило или живет благодаря фотосинтезу.

Мы видим, что без света жизнь была бы невозможна.

Щедрые лучи

Сколько же энергии несет нам солнечный свет?

На земле множество гигантских естественных и искусственных «органических фабрик» — лесов, лугов, полей. Ежегодный прирост вещества на них составляет примерно 35 миллиардов тонн. В этом веществе содержится около 160 миллионов миллиардов калорий. Калория — это единица измерения тепловой энергии, мера тепла.

Энергию топлива — его теплотворную способность — называют «калорийностью». Средняя калорийность, например, дров составляет около 3000, а керосина — 11 000. Это, значит, что при сжигании 1 килограмма дров выделяется 3000, а 1 килограмма керосина — 11 000 калорий.

Поскольку пища — это «топливо», то можно говорить и о ее калорийности, мерить энергию пищи тепловыми единицами. Суточная норма питания человека составляет 3000 калорий. Положим еще столько же на одежду и технико-производственные нужды. Если разделить ежегодный органический прирост на число людей на земле (около $2^1/_4$ миллиардов), то на душу придется в сутки 200 тысяч калорий! Так велик «световой дар» солнца. Но, напомните вы, далеко не всякое органическое «топливо», например трава и дерево, годится нам в пищу.

Зато, укажем мы, трава — основной корм скота, а скот — источник важнейших продуктов питания человека и прекрасное сырье для многих предметов производства. Что же касается дерева, то если его и не едят ни люди, ни животные, оно все же остается ценнейшим техническим материалом. Ведь мы и на производственные нужды положили 3000 больших калорий.

Возможно, что не всем этот довод покажется достаточно убедительным. В таком случае вспомним, что химики уже сейчас умеют частично перерабатывать древесину в пищевые продукты, например в высокопитательное вещество глюкозу (виноградный сахар). А наука идет все вперед, и, если понадобится, то дерево будет использовано и для питания.

Вообще получать пищевые продукты искусственным путем возможно из многих веществ. Но при одном непременном условии: вещество должно содержать энергию, полученную им от солнца в процессе фотосинтеза. Вооруженный знанием, современный человек вправе сказать: что бы то ни было — дерево или другое органическое вещество, дайте его только, а приспособить его для питания — с этим мы уже справимся!

Тридцать пять миллиардов тонн — число огромное. При этом далеко не вся земля покрыта «заводами» зелени. Подсчитано, что наземной флорой принимается всего только пятнадцать сотых процента энергии, доставляемой солнцем суше!

Это ничтожное число поражает воображение. Оно словно говорит — смотрите, как велики ваши возможности! — и призывает использовать их. А путей для этого много, и все они широко используются у нас в стране.

Мы стремимся к изобилию. Наши посевные площади все увеличиваются; тощие почвы — а их еще очень много! — становятся плодородными; искусственно орошаемые степи и осушаемые болота превращаются в огороды и пашни. Обширные территории, занятые бесплодными пустошами, планомерно покрываются лесами, садами и нивами.

Но это еще не все. Урожайность полей, лугов, садов, огородов нашей необъятной Родины неуклонно повышается. И если наука дает все больше средств управлять природой, переделывать и изменять ее, то именно у нас эти возможности используются в полной мере.

В грандиозных масштабах выводятся в Советском Союзе новые породы растений и животных и создаются лучшие, более питательные сорта плодов, овощей и хлебов. Советские ученые выращивают морозоустойчивые виды растений, приспособляя их к условиям сурового климата, и изменяют даже самый климат Того, на что природе требуются тысячи лет, вооруженный знанием человек достигает за время жизни немногих поколений.

В нашей великой стране безраздельно господствует социалистический труд — труд освобожденный, творческий. Поэтому в ней и идет историческая созидательная работа, невиданная по своему размаху, глубине и значению и совершенно немыслимая в царстве капитала.

Там, в этом царстве, происходит как раз обратное.

Благодаря хищническому хозяйничанью в капиталистическом обществе, при котором каждый частный землевладелец заботится лишь о своей сегодняшней личной наживе, почвы в США истощаются и вырождаются, становятся бесплодными пустынями. Посевные площади уменьшаются, и бывает, что «излишки» картофеля, к выгоде богачей, уничтожаются, пшеница и кофе мешками кидаются в топки пароходов и паровозов. Что может

быть чудовищнее этого для страны, в которой миллионы безработных, — для мира капитализма, в котором сотни миллионов людей голодают?

У нас же — к какому росту «органических богатств» ведет один только государственный план полезащитных лесонасаждений! Как преобразовывает природу на благо человечества одно только учение Ивана Владимировича Мичурина!

Преображаются не только степи и пустоши средних и южных полос Союза, — мы превращаем в цветущий край и нашу богатую ископаемыми Арктику. Наши возможности безграничны, наши «энергетические доходы» будут прогрессивно расти и давать все новые миллиарды тонн органического вещества.

Но и это еще не все. В процессе фотосинтеза растения поглощают от 0,6 до 8,0, а в среднем около 2 процентов падающей на них лучистой энергии. Таковы твердые кормы, по которым «зеленые фабрики» работают сотни миллионов лет.

Всего две сотых? Но нас не удовлетворяет подобная низкая производительность фотосинтеза. Не устарели ли нормы «главного биохимика» — природы? Быть может, наука внесет и в эту область свои поправки?..

Несомненно! Предписания природы — не всегда закон для науки; «естественные» пределы — далеко не всегда указ человеку. Разумно направленной деятельностью он может повышать и среднюю производительность фотосинтеза. И в этом, как и во многих других направлениях, работают наши биологи и агрономы. Ведь советская наука — наука новаторская, нещадно бьющая косность по всем направлениям; воздействует она и на многие отсталые нормы природы. Быть может, в будущем и 8 процентов окажутся не пределом?..

Но и это еще не все.

Мы говорили до сих пор только о суше. Суша же составляет всего четверть земной поверхности... А ведь в океанах, морях, озерах, прудах и реках также есть жизнь, существующая энергией света. И подводное население также принадлежит к главным продуктам нашего питания. Рыбные же богатства исполинских естественных «аквариумов» огромны, причем рыбу человек не только вылавливает — он стал и разводить ее.

В будущем, несомненно, возникнет «агрономия океанов» — планомерное, научное хозяйство в водах, подобное сельскому хозяйству на суше. Оно легко осуществится, когда на нашей планете будет единое коммунистическое общество.

В ЦАРСТВЕ РАДУГ

Недоразумение на аэродроме

ПОСЕТИВ многие края и области, мы уже немало узнали о свете и видели, какую роль играет в природе зеленый цвет.

Однако природа рядится не только в зелень, — она украшает себя полным набором радужных красок. То вдруг заблестит капелька утренней росы на листочке растения в лесу, то на стене или потолке появится против зеркала разноцветная полоска, а то и на скатерти возле графина с водой заиграет вдруг маленькая радуга...

Она возникает и в фонтанах, и даже при поливке клумб, грядок, травы и улиц из брандспойта или просто из лейки.

Кому не приходилось наблюдать, как пестро искрятся иногда в ясный день отдельные снежинки на поле и морозные узоры на оконных стеклах? А как сверкает разноцветными огоньками бриллиант — отшлифованный алмаз!

Быть может, и в «радужном мире», как у зеленой флоры, за внешней красотою окраски кроется нечто значительное? Быть может, и тут свет расскажет нам о чем-то важном?

Это нетрудно узнать: предпримем экскурсию в «царство радуг».

С чего же лучше всего начать ее? Естественно — с самой радуги. В первую очередь сделаем наиболее простое: обратимся к самой царице — направимся непосредственно к разноцветной небесной полосе и осмотрим ее вблизи.

Мы садимся в самолет и летим прямо к радуге. Сейчас мы увидим, что она представляет собой.

Но нас постигает разочарование: радуга постепенно блекнет и исчезает... Мы попадаем в дождь... Очевидно, за время нашего полета радуга «прошла». Приходится вернуться ни с чем.

На аэродроме возникает недоразумение: товарищи, остававшиеся на земле, уверяют, что радуга ни на миг не исчезала.

Кто-то введен в заблуждение. Кто же — мы или товарищи?

Очевидно, товарищи, так как мы убедились, что радуги уже несколько минут нет.

За недоразумением следует сюрприз. Мы оборачиваемся и видим: на небе попрежнему блистает великолепием красок разноцветный полукруг.

Что же это такое? Призрак?..

Не попали ли мы в положение ребенка, который, увидев кого-то в глубине зеркальной рамы, с любопытством заглядывает за зеркало и никого не находит? А мы полагали, что предпринимаем «наиболее простое»...

Итак, как при первых шагах в стране света, мы и тут сразу столкнулись с загадкой. Где же искать секрет радуги, с чего начать?

Обращаясь снова к вашему воображению, читатель, мы приглашаем вас вступить в фантастический мир.

О чудесах и призраках

В царстве радуг нам заявляют: существуют не только призраки, но и чудеса, превосходящие вымыслы сказок. Нам напоминают о ковре-самолете и серебряном блюдце с наливным яблочком, этих поэтичных русских фантазиях, живших в народном воображении несбыточным чудом.

Мы не можем не признать, что современные авиация и телевидение (передача изображений по радио) превзошли самые смелые мечты сказок.

Затем нам представляют живых чародеев. Они достают из футляра укрепленные на стойке волшебные палочки и говорят: «Эти трубки показывают, из каких металлов состоят сплавы, что за вещества входят в различные химические соединения, что за лучи и в каких количествах поглощает хлорофилл в процессе фотосинтеза.

Этот прибор рассказывает о температуре и расплавленной стали в доменной печи, и солнца, и звезд...»

А ведь до солнца — 150 миллионов километров. К нему не подступиться с термометром. Выпущенная из винтовки пуля летела бы до солнца более 6 лет, а звук выстрела мог бы достигнуть его только через 14 лет. Ближайшая же из звезд в 270 тысяч раз дальше солнца. Пуля летела бы до нее почти два, а звук — четыре миллиона лет. И это — только до ближайшей звезды!

«Этот прибор, спектроскоп, — продолжают «чародеи», — показывает, какие химические элементы и в каких пропорциях имеются на солнце и звездах; как далеки звезды, куда они движутся и чему равны их скорости; с помощью этих трубок можно

подсчитать размеры гигантских небесных тел — звезд, их форму и вес, причем спектроскоп говорит все это не только о видимых, но и о невидимых звездах...»

Физик и астроном могли бы сообщить еще о многом, что человек узнал и продолжает узнавать с помощью спектроскопа. Но достаточно сказанного. Нам ясно, что наиболее чудесное, подлинно чудесное — в знании, в науке. Какой, действительно, чародей может сравниться с ученым, какие волшебные палочки выдержат состязание с созданной умом и руками человека техникой?

Мы спрашиваем, что придает спектроскопу его «магические» свойства.

Нам протягивают стеклянную призму — трехгранный кусок бесцветного стекла...

Затем перед глазами возникает вид природы в ясный зимний день. Все кругом бело, белизна поля слепит. Лишь кое-где чернеют стволы деревьев да сучья, обсыпанные снегом.

Мы подносим призму к глазам, и все видимое мгновенно преображается. Возникает сказочная картина — все расцвечено радужными красками. Причудливо украшенные спектрами, деревья уподобились новогодним елкам: снег на сучьях, окаймленный множеством маленьких спектров...

Что же это — тоже «призрак» вроде радуги? И что за слово «спектр», которое уже несколько раз встретилось?

Слово это происходит от латинского «спектрум». В переводе на русский язык оно означает «призрак».

Судья и учитель

Откуда же появились эти пестрые полоски, эти радужные краски? Ведь призма бесцветна и прозрачна...

Исследованием этого явления занимались многие ученые; среди них — живший в XVII веке крупнейший английский физик и математик Ньютон.

Он плотно закрыл окно ставнями и проделал в них небольшое отверстие. Проникавший сквозь отверстие луч солнца ложился ярким пятном на стену. Когда Ньютон преграждал лучу путь призмой, на стене вместо белого пятна появлялась радужная полоска.

Описывая это явление по-латыни, — а на латинском языке писались тогда все научные работы, — Ньютон назвал радужную полоску спектром. Эта загадочная разноцветная полоска, рожденная белым лучом и бесцветной призмой, действительно могла натолкнуть на образное сравнение ее с призраком! Так за ней и сохранилось название «спектр».

Отправимся на поиски разгадки спектра. При этом будем твердо помнить: опыт — великий учитель, авторитетный эксперт и верховный судья. Это он, если только возможно поставить его, решает спорные вопросы: ему принадлежит последнее слово. Когда-то ученые, философы считали, что познать природу вещей можно одними лишь размышлениями: достаточно-де сидеть и думать, чтобы до всего на свете додуматься, все понять.

Это оказалось глубочайшей ошибкой. Природу надо тщательно изучать в реальной действительности; ее проявления надо исследовать на деле. Для этого есть два способа: наблюдение и опыт. Гениальнейший русский ученый Михаил Васильевич Ломоносов говорил: «Из наблюдения установлять теорию, через теорию исправлять наблюдение». Наблюдать явления природы в естественных условиях и воспроизводить их, по возможности, искусственно — проделывать опыты — вот путь всепобеждающей науки.

С первого же шага на пути исследования «призрака» обнаруживается странное явление: призма отклоняет проходящие сквозь нее лучи света. Это видно из того, что спектр появляется не на том месте стены, на которое падал раньше белый луч солнца, а довольно далеко от него в стороне.

Возникает вопрос: зависит ли это свойство призмы от ее формы, вещества или еще чего-нибудь?

За ответом снова обратимся к опыту.

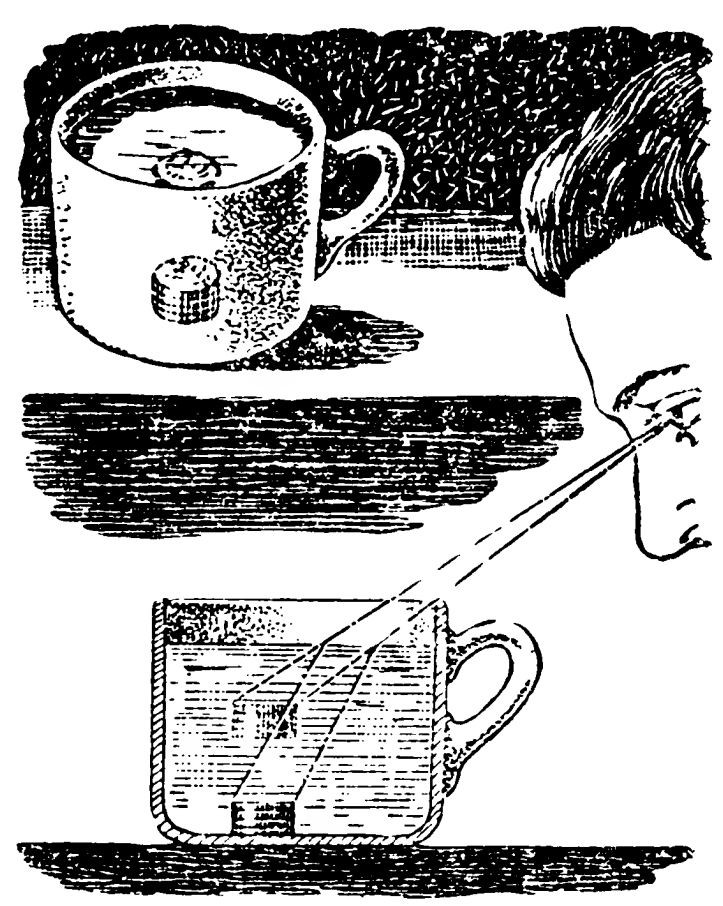
Ложка в стакане чая

В затемненной лаборатории стоит стеклянная ванна с водой. Мы направляем сверху на воду, перпендикулярно ее поверхности, тонкий луч белого света. Видно, как он проходит сквозь воду и падает на дно. Мы внимательно осматриваем ванну со всех сторон и убеждаемся: луч идет прямо вниз, никуда не сворачивая.

Попробуем наклонить луч к поверхности воды. Взглянув на него сбоку, мы обнаруживаем: войдя в воду, он изменил свое направление, стал похожим на надломленную палку, обе части которой не составляют прямой линии. И чем больше мы наклоняем его к поверхности воды, тем больше он «преломляется» — дальше отходит в воде от своего первоначального направления.

Проделывая новые опыты, мы устанавливаем: при переходе из одной прозрачной среды в другую, будь то какое-либо вещество или пустота, лучи света изменяют свое направление, преломляются. Это закон, неопровержимо заявил опыт. Такова природа вещей.

Возможно, вы не находите в преломлении света ничего замечательного. Такое простенькое явление... Казалось бы, ему нечем увлечь любителя занятных диковинок. Однако, как мы увидим, благодаря преломлению света человек проник своим глазом в глубь «микромира» — мира мельчайшего — и в даль «макрокосма» — большого мира: открыл микробов, исследовал строение многих веществ, тканей организмов людей, животных и растений и узнал, что происходит в капельке крови и в недрах вселенной.



Поставьте на дно непрозрачной кружки стопку из 5—6 монет. Отойдите настолько назад, чтобы монеты скрылись за краем кружки. Не меняя положения головы, медленно лейте в кружку воду. Монеты снова станут видимыми.

Край кружки уже не заслоняет монет: отражаемые ими лучи, выходя из воды, преломляются и попадают в глаз. При этом монеты и дно кружки, представляясь на прямом продолжении лучей зрения, кажутся приподнятыми.

Для того чтобы познакомиться с преломлением света, не нужны ни лаборатория, ни специальная аппаратура. Мы постоянно сталкиваемся с его проявлениями в повседневной жизни, они сами навязчиво демонстрируют себя. В силу привычки мы не обращаем на них внимания — разве только в случаях, когда они вызывают досаду: экое кривое зеркало!..

Взгляните сверху на ложку в стакане чая или воды. Она выглядит надломленной. Посмотрите на нее сквозь воду сбоку, и она покажется набухшей, искаженной; двигайте ею, и ее видимая форма будет изменяться. А выльете воду — все эти явления исчезнут.

Отсюда ясна роль воды. От ложки идут в ваш глаз световые лучи. Но стакан — круглый, и ту же форму принимает в нем вода. Выходя из нее и преломляясь, лучи света различно изменяют свое направление. И вы видите отдельные части ложки не в тех направлениях, в которых они находятся на самом деле. Поэтому форма ложки и представляется искаженной.

Обыкновенная чайная ложечка... Она, оказывается, говорит о законе природы — надо только суметь понять ее язык — о законе физики, на котором основано действие микроскопа и телескопа — чудесных приборов, перевернувших воззрения человека на мир.

Фронт волн

Исследователь устанавливает факты, делает открытия, выводит законы. Но ему мало этого. Изучая явления природы, он ставит вопрос: а почему?

Почему лучи света преломляются?

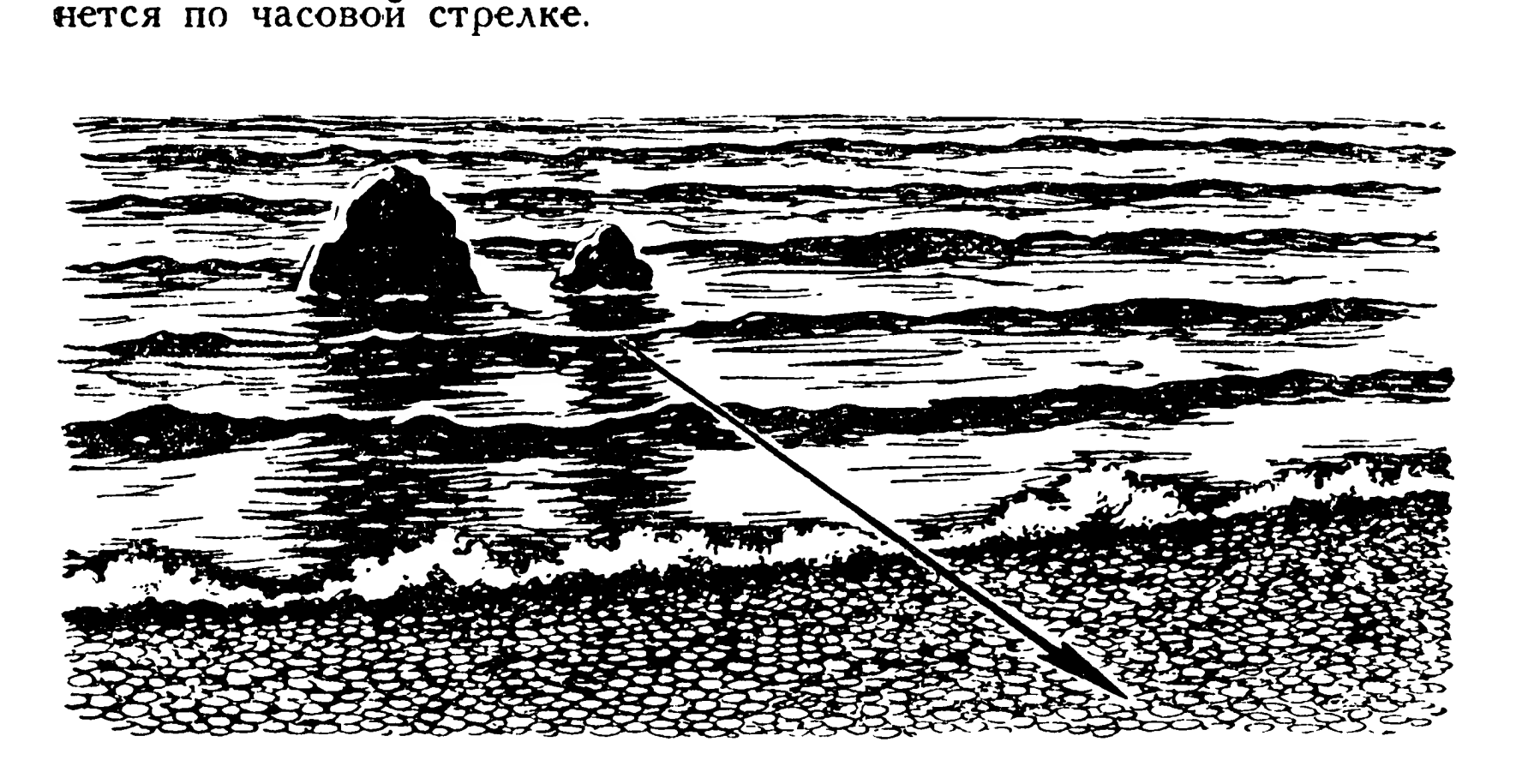
Рассмотрим как будто посторонний пример.

Перед нами поле. Одна его половина покрыта асфальтом, другая — травой. Трава отграничена от асфальта четкой прямой линией.

По асфальту катится тележка. Она движется к траве перпендикулярно границе. Вот тележка наехала на траву сразу обоими передними колесами. Она продолжает катиться в том же направлении, но скорость ее сильно уменьшилась: трава сильнее сопротивляется движению, чем асфальт.

Другой случай: тележка катится не перпендикулярно границе, а под каким-либо острым углом к ней. В этом случае она не попадает одновременно обоими передними колесами на траву. Пусть травы достигнет сначала правое колесо. Испытав возросшее сопротивление, оно несколько затормозится. Левое же колесо, находящееся еще на асфальте, будет продолжать двигаться с прежней скоростью. К чему это приведет?

Тележка несколько повернется по часовой стрелке и покатится по траве уже в другом направлении, чем по асфальту. Иначе говоря, ее путь на границе асфальта и травы преломится. Покатите по столу карандаш так, чтобы он задел своим правым концом, например, коробку спичек, и карандаш несколько повернется по часовой стрелке.



Фронт волн движется в направлении, поперечном рядам волн

Триста тысяч километров в секунду — это скорость света в пустоте. В воздухе она меньше, в воде — еще меньше и еще меньше — в стекле. Чем плотнее среда, тем большее сопротивление она оказывает световым волнам, и тем медленнее они распространяются в ней. Таким образом, при переходе из одной среды в другую, если плотности их различны, с лучом света, бегущим вперед фронтом волн, происходит то же, что с тележкой, наезжающей двумя колесами на траву.

Что такое «фронт волн»?

Мы представляем себе фронт армии, наступление армии «развернутым фронтом». Подобным фронтом набегают волны во время прилива на морской берег. Образованный, скажем, гребнями волн, фронт их расположен перпендикулярно направлению, в котором они бегут.

Колеблющаяся в пруду палка возбуждает круговые волны— расширяющиеся, вложенные друг в друга круги. Тут мы имеем дело с круговым фронтом. Если провести через все круги два близких один к другому радиуса, получится узкий плоский клин. Построенный из коротких отрезков волн, он представит собой «водяной луч» — одно из направлений, в которых распространяются волны. Подобные радиусы-лучи идут во все стороны от центра колебаний; вся площадь кругов состоит из них. Латинское слово «радиус» и означает по-русски «луч».

Такова же картина распространения и лучей света. Однако источник света, например лампа, излучает вокруг себя волны не на плоскости, вроде водяных на пруду, а в пространстве. Поэтому световые, как и радиоволны, — не круги, а полые, вложенные друг в друга, расширяющиеся шары. Вырежем из них радиусом узкий конусообразный клин — луч. Состоящий из долек волн, он походит на столбик все уменьшающихся монет.

Направим такой столбик склеенных монет фронтом вперед на какую-нибудь вязкую массу наклонно к ее поверхности. Произойдет то же, что с тележкой, натолкнувшейся на траву: достигнув массы, столбик повернется. Точно так, входя в воду или стекло призмы наклонно к одной из ее граней, луч света несколько поворачивается. Выйдя из призмы, он вторично изменяет свое направление, еще более отклоняясь, благодаря форме призмы, в ту же сторону. Поэтому спектр и ложится на стену вдали от места падения белого луча.

Откровение призмы

Раскроем теперь второй секрет призмы — происхождение цветных лучей. Продолжим наши опыты, оставаясь мысленно в тех веках, когда о цветах еще не знали того, что нам уже известно.

При первых же исследованиях преломления света мы сталкиваемся с загадочным обстоятельством: в отклонившемся белом луче мелькает что-то красочное. И чем сильнее преломляется белый свет, тем явственнее возникновение цветных лучей. При опытах с трехгранной призмой это особенно заметно: белый луч совершенно исчезает в призме, как бы превращаясь целиком в великолепную маленькую радугу, превосходящую по яркости «настоящую».

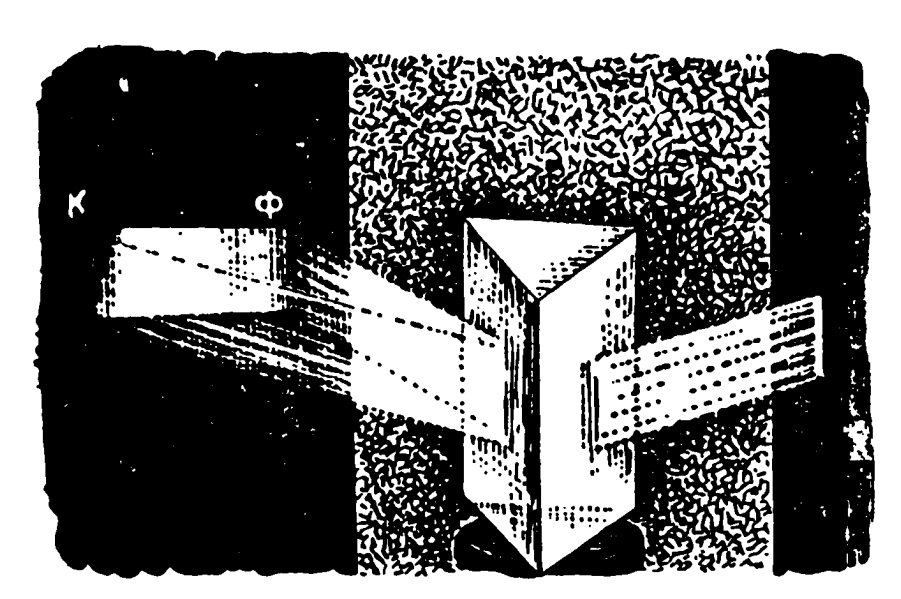
Исследуем это явление подробнее. Направим на призму сквозь узкую, длинную вертикальную щель пучок солнечных лучей. Широкий и тонкий, он похож на полоску картона; стороны этой полоски почти параллельны. Мы видим, как из призмы выходит пучок расходящихся цветных лучей, напоминающий несколько раскрытую книгу.

Это значит, что цветные лучи в разной мере отклоняются от направления белого, из которого они возникли. Меньше всего отклоняются красные, больше всего — фиолетовые. Поэтому на стене получается столбик из расположенных рядом, плавно переходящих одна в другую, цветных полосок.

Так вот в чем дело!.. Проверим наше наблюдение: посмотрим, как преломляется луч каждого цвета в отдельности.

Аппарат, с помощью которого мы получали когда-то световые волны разной длины, был воображаемым. Теперь у нас есть для этого превосходный реальный инструмент — призма. Простенькое приспособление позволит выделять луч любого цвета.

Поставим между призмой и стеной непрозрачную пластинку с узкой вертикальной щелью. Весь спектр теперь ложится не на стену, а на пластинку; сквозь щель пробивается лишь один тонкий пучок. При передвижении пластинки в щель поочередно проходят разные лучи; мы принимаем их на вторую призму. Преломившись в ней, каждый отклоняется и ложится на стену. Однако окраска его уже не изменяется: он выходит из второй призмы таким же, каким вошел в нее. Мы убеждаемся, что фиолетовые лучи действительно преломляются сильнее синих, си-



Белый свет — «смесь» цветных лучей. А призма преломляет свет. Но цветные лучи преломляются в разной мере. Сильнее всего преломляется фиолетовый луч (буква Ф), меньше всего — красный (К). Между ними располагаются лучи других цветов. Так на экране возникает радужная полоска — (спектр).

ние — сильнее голубых и так дальше в порядке цветов спектра.

Ясно: призма разбрасывает, рассеивает цветные лучи потому, что они преломляются в разной мере. Следовательно, всякую «световую смесь» она должна разделять, сортировать ее по цветам. Иначе говоря, сложный луч должен распадаться в призме, разлагаться на составляющие его простые — одноцветные лучи. Следовательно, белый свет состоит из лучей спектральных цветов.

Не забудьте — мы находимся мысленно в XVII столетии. А белое всегда представлялось человеку простейшим, нецветным, бескрасочным, «цветовой пустотой», на фоне которой любая краска лучше всего видна. А тут оказалось как раз обратное: белое — не только не «пустота»; наоборот, оно представляет собой полный, насыщенный набор цветов!

Откровение призмы ошеломляло. Оно казалось невероятным. Многие люди (конечно, не физики) еще в течение полутора веков никак не могли освоиться с неправдоподобным фактом, оспаривали его. Это так непривычно... Но это должно быть так — к этому непреложно приводит логика опытов.

Проверим наш вывод. Пусть эксперимент еще раз скажет свое веское слово.

Забавная игрушка

Эксперимент всегда требует сноровки, часто большого искусства, а нередко и особых уловок. Экспериментатор должен быть изобретательным. Природа не заботится об исследовательских трудностях; она хранит свои тайны под замком, и похитить их стоит иногда неимоверных усилий. Подчас она даже вводит в заблуждение, как, например, в случае с «белым цветом».

Многие опыты — остроумные, а часто и гениальные по простоте замысла — заслужили бессмертие в истории науки. Не замечательно ли, например, что люди смогли сосчитать сотни тысяч миллиардов световых колебаний в секунду или измерить электромагнитные волны, длина которых в сотни и тысячи раз меньше толщины волоса, — волны, которые вообще недоступны зрению и неизвестно из чего состоят?..

К электромагнитным волнам мы еще вернемся, а пока потребуем от призмы прямого ответа на наш вопрос. Подумаем только, как лучше задать этот вопрос.

Белый луч проникает в призму и выходит из нее расходящимся пучком. А что, если пойти обратным путем? Спектр можно рассматривать как источник света. Сможет ли призма собрать обратно рассеянные лучи?

Мы убираем пластинку со щелью и располагаем рядом с первой другую призму, но в обратном положении. Вскоре нам удается достигнуть цели: вторая призма соединяет лучи, разбросанные первой На стене появляется всего одна световая полоска.

Полоска бела. Это уже доказательство, прямое, непосредственное доказательство того, что, во-первых, белое есть смесь спектральных цветов, вследствие чего оно и может преображаться в радужное; во-вторых, что призма не создает, не порождает ничего цветного, а лишь сортирует то, что ей дают.

Будем теперь с помощью призм и пластинок со щелями сочетать цветные лучи по два, по три и более. И снова мы обнаруживаем много любопытного. Оказывается, белое может состоять и не из всех цветов спектра. Белый свет получается также при смешении зеленовато-желтых лучей с фиолетовыми, оранжевых с голубыми, зелено-голубых с красными, желтых с синими... Становится понятным, почему синька придает белью, которое выходит из стирки желтоватым, белизну.

Однако белый свет, образованный лучами всего двух или трех цветов, — какой-то своеобразный, неестественный. Он искажает видимую окраску предметов. Правда, сахар, мел или снег, освещенные белой смесью, например желтых и синих лучей, остаются белыми; синие и желтые предметы, если они действительно таковы, также представляются, как и следует, синими и желтыми. А что случилось с другими цветами? Они выглядят мрачными, темными. Вспомнив о синих костюмах и красных галстуках, казавшихся черными, мы начинаем понимать, в чем дело.

Но что значит: «если они действительно таковы»?

Прежде мы нашли: вещества имеют тот цвет, лучи которого они отражают. Теперь же оказывается: предмет может быть цветным, вовсе не отражая лучей этого цвета.

Проведем на листке бумаги разноцветными карандашами, чернилами и красками ряд тонких линий и посмотрим на них при дневном свете сквозь призму. Что мы увидим?

Призма разлагает, «разоблачает» их: они распадаются на два и более цветов... Оказывается, оранжевый свет можно образовать смешением красных лучей с желтыми, а желтый — смешением оранжевых с зелеными или красных с синевато-зелеными...

Более того, любая окраска окружающих нас предметов, в том числе зелень растений, — не одноцветна. Мы подставляем под лучи спектра на стене разноцветные куски бумаги и лоскутки материи. На них видны в большей или меньшей мере почти все спектральные цвета. Следовательно, лоскутки и бумажки отражают лучи этих цветов.

Но некоторые цвета заметнее среди остальных. Значит, видимая окраска предметов зависит от того цвета или сочетания тех цветов, какие преобладают в ней. Если, например, предмет отражает сравнительно больше желтых лучей, или оранжевых и зеленых, или синевато-зеленых и красных в известных пропорциях, то он и выглядит желтым

Итак, что ни возьмешь, все сложно — многоцветно... Неужели в действительности не существует ничего одноцветного, «чистых» красок, таких, которые отражают световые волны только одной определенной длины?

Испытаем две краски, славящиеся своими качествами: кармин (красная) и индиго (синяя). Подставим покрытые ими листки бумаги под лучи спектра. Наконец-то, нашли! Все цвета исчезли, остались только: на кармине — единственная яркокрасная полоска, а на индиго — яркосиняя. С боков этих полос темно: лучи остальных цветов спектра эти краски поглотили. Знаменитые кармин и индиго выдержали строгий экзамен призмы. Теперь мы знаем: в наших руках превосходное орудие, точный инструмент для распознавания и исследования цветов.

А что, если испытать не солнечный, а какой-либо другой свет? Проделав несколько опытов с огнем керосиновой лампы, мы устанавливаем: в его спектре относительно больше красно-оранжевых тонов и меньше сине-фиолетовых, чем в солнечном. Затем мы зажигаем в спиртовке химически чистый спирт. Его бесцветное пламя почти не светит. Попробуем окрасить его. Для этого растворим в спирте первое попавшееся вещество — поваренную соль — одно из химических соединений металла натрия.

Огонь становится желтым. Очевидно, раскаленные пары натрия излучают желтый свет. Но простой ли он или сложный, то есть соответствует ли длина его волн лучам именно желтого цвета? Мы оглядываемся; почти все кругом, даже наши лица, выглядит мрачно-темным, даже черным. Любопытный свет: светит, а не освещает!

Заключаем: пары натрия излучают «настоящие» одноцветные желтые лучи.

Проверим их — возьмем их на призму.

На белом листке бумаги четко проступает тонкий желтый столбик. Остальные части спектра черны. Так и есть: пары натрия излучают световые волны строго определенной длины в узких пределах желтой части спектра. Призма авторитетно подтвердила справедливость наших заключений. Прекрасный, надежный инструмент!

Мы продолжаем экспериментировать: призма увлекает нас, как ребенка забавная игрушка. Только ли забавная игрушка в наших руках?..

В плену у призмы

Когда нам впервые показали сквозь призму зимний вид, то снег на сучьях представился радужными полосками. Мы удивились этому, зная, в силу привычки, что снег должен быть белым. Почему, однако, он должен быть таким?

Необыкновенный вопрос об обыкновенной вещи! Казалось бы, причина проста: потому что вода бела. Из красной воды получился бы красный снег, а из синей — синий

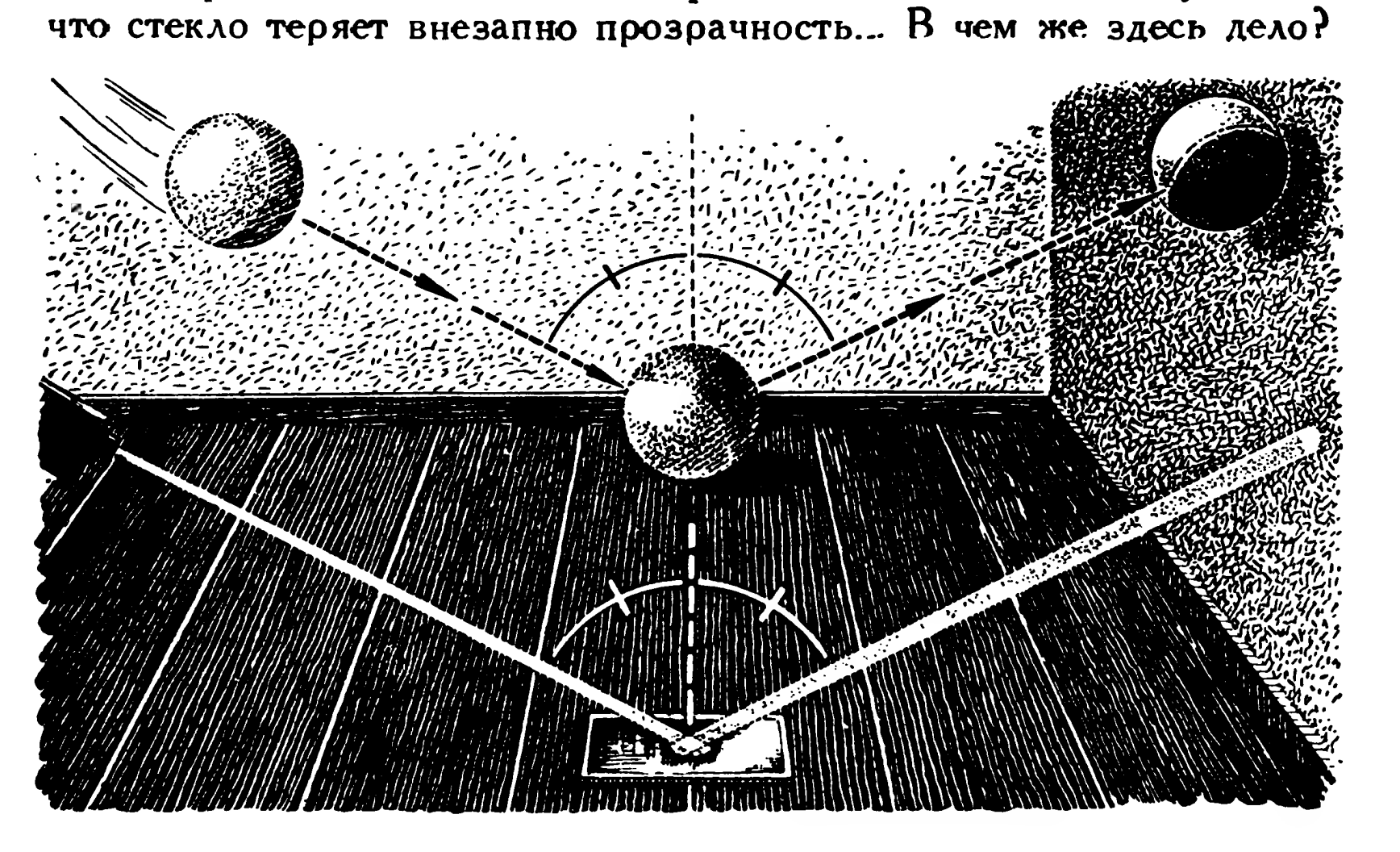
Но нет, не так-то просто. Ведь вода не бела, а бесцветна и прозрачна. Таков же лед, таким должен был бы быть и снег.

Мы снова берем в руки призму. Внезапно в ней на мгновение появляется яркий блеск. Это явление и раньше обращало на себя наше внимание: повернешь как-то призму, и вдруг она заблестит, словно полированное серебро.

Вскоре мы находим причину этого явления. Зато обнаруживается нечто уже совсем странное.

Оказывается, внутренние стороны граней призмы, видимые сквозь стекло, превращаются при некоторых положениях в зеркала: в них видны отражения предметов.

А зеркала непрозрачны. Свет отражается от зеркал, не проходя сквозь них. При ближайшем рассмотрении мы убеждаемся, что и грани призмы, когда их внутренние стороны действуют, как зеркала, совершенно не пропускают света; они полностью отражают его. Но ведь призма стеклянная. Получается, что стекло теряет внезапно прозрачность... В чем же здесь дело?



Эти углы измеряются от вертикальной линии. Можно отсчитывать их и от горизонтальной плоскости. В обоих случаях получится одно и то же: угол отражения равен углу падения.

Прежде мы направляли луч в ванну с водой сверху. Сейчас проделаем обратное: пустим его в воду снизу, чтобы он упал не на внешнюю сторону ее поверхности, а на внутреннюю.

Сначала получается такая же картина: выходя из воды, луч преломляется и идет в воздухе уже в ином направлении. Начнем теперь медленно поворачивать луч — наклонять его в воде. Благодаря этому он преломляется все сильнее; его внешняя часть, расположенная в воздухе, все больше пригибается к поверхности воды. Наконец, она совсем ложится на воду.

Пытливо наблюдая, как она бежит вдоль поверхности воды, мы перестаем поворачивать луч. Однако в воде он еще далеко не полностью пригнулся к ее поверхности — его можно наклонять дальше Что же тогда будет? Любопытный момент! Очевидно, в явлении должен произойти какой-то перелом: ведь при выходе из воды лучу уже некуда больше наклоняться.

Мы поворачиваем его чуть дальше и получаем на наш вопрос простой ответ: поскольку наклоняться некуда, то луч я не выходит из воды... Повидимому, он не может пробиться сквозь водный «потолок». Он попал в плен!

Теперь, уже не преломляясь более, луч отражается от внутренней стороны водной поверхности. Она стала для него непроницаемым зеркалом. Подобное мы увидели бы, если бы потолок комнаты был зеркальным. Луч света, направленный на него снизу под каким-либо острым углом, отразился бы, согласно законам отражения, под таким же углом, но в противоположную сторону. Точно так отражается от пола мяч: он отскакивает под углом, под каким был брошен, но не обратно в руки кинувшего его, а в противоположном направлении.

Теперь ясно, что сверкает в призме: плененный луч. Он не в силах «взять барьер» — пройти сквозь призму; натолкнувшись на неодолимое препятствие, он отскакивает под соответствующим углом назад. Отраженному лучу «разрешается» выйти из призмы обратным путем. Если он попадает при этом в наш глаз, то мы и видим в призме зеркальный блеск. Но стоит несколько повернуть призму, как блеск исчезает: отраженный луч проходит мимо глаз.

Разлагается ли сложный луч, испытывая полное внутреннее отражение в прозрачном теле?

Нет, в процессе самого отражения свет не разлагается. Об этом свидетельствует обыкновенное зеркало: белый предмет выглядит в зеркале только белым. То же справедливо для отражения света и в воде, и в стекле, и в других веществах.

Но, как мы знаем, сложный луч может распадаться на составляющие его цветные при переходе из одной среды в

другую. А это может дать такую картину: белый луч, проникая в какое-то прозрачное тело, разлагается; испытав в теле полное внутреннее отражение, разноцветный световой пучок выходит из тела в воздух. Преломляясь при этом, в свою очередь, цветные лучи значительно рассеиваются.

Подобные явления могут возникать в телах различной формы, в том числе и в призмах. Призмы у читателя, вероятно, нет, но, несомненно, ему приходилось наблюдать сходное явление, о котором мы уже вскользь упоминали.

На стене висит зеркало; стекло окаймлено косо отшлифованными гранями. Получаются двугранные углы. На один из них падает солнечный луч. Как в призме, он преломляется и разлагается. Образуется разноцветный пучок. Отраженный зеркальной поверхностью, пучок этот ложится на другую стену или потолок прекрасным ярким спектром. Если вы станете так, чтобы спектр упал на ваш глаз, грань зеркала представится вам ослепительно сверкающей радужными лучами. При малейших движениях головы наблюдателя цвета перед ним меняются, переливаются один в другой.

О „вещих предзнаменованиях“

Почему у «полного внутреннего отражения» такое сложное название?

Потому что отражение бывает и не полным и не внутренним. Частично отражают свет и внешние поверхности тел и веществ, как бы прозрачны они ни были.

Так, при восходе и заходе солнца окна домов выглядят снаружи, при соответствующем положении наблюдателя (не забывайте: угол отражения равен углу падения), огненно-пылающими. В то же время солнце видно и изнутри дома. Значит, оконные стекла не только пропускают свет, но и частично отражают его. В сосуде с водой вы видите слабое отражение своего лица, на поверхности пруда — отражение солнца, луны, облаков. Кому не приходилось наблюдать, как в ясный день сверкает на открытом месте осколок стекла? Все это — случаи частичного внешнего отражения.

Кристаллик сахарного песка прозрачен. Но он действует подобно призме: наружные поверхности его граней отражают часть падающего на них света, а внутренние отбрасывают некоторые лучи полностью, совершенно не пропуская свет сквозь себя. Сахарный песок представляет массу кристалликов, нагроможденных в различных положениях. В любой точке этой массы глаз наталкивается на маленькое зеркальце. Если какой-нибудь

из верхних кристалликов и просвечивает, то среди лежащих под этим других кристалликов наверняка найдутся такие, которые не пропустят свет. Поэтому, отражая во всех своих точках белый свет, сахарный песок и выглядит белым. И не только песок, но и кусковой сахар, поскольку он состоит из груды беспорядочно слипшихся кристалликов.

По той же причине непрозрачен и бел стеклянный порошок. Чем мельче истолчено стекло, тем, естественно, насыщеннее белизна порошка. Не ясна ли теперь причина белизны и снега? Ведь каждая снежинка состоит из множества мельчайших кристалликов льда, расположенных в различнейших положениях.

Нетрудно понять, почему все эти вещества просто белы, а не отражают предметов подобно зеркалам. У зеркала — одна общая непрерывная поверхность. Падающие на нее лучи света отражаются упорядоченно, в строго определенных направлениях. Они и строят изображения, которые мы видим в зеркалах.

У снега и стеклянного порошка отражающие поверхности ничтожно малы, число же их огромно. Отбрасываемые ими мириады лучей идут в разных направлениях наперебой друг другу и перемешиваются. Вследствие этого «снегообразные» вещества и не дают изображений предметов, а выглядят только ровно белыми.

Но, если они состоят из кристалликов, действующих подобно призме, то почему же, опять-таки, они белы, а не сверкают радужными красками?

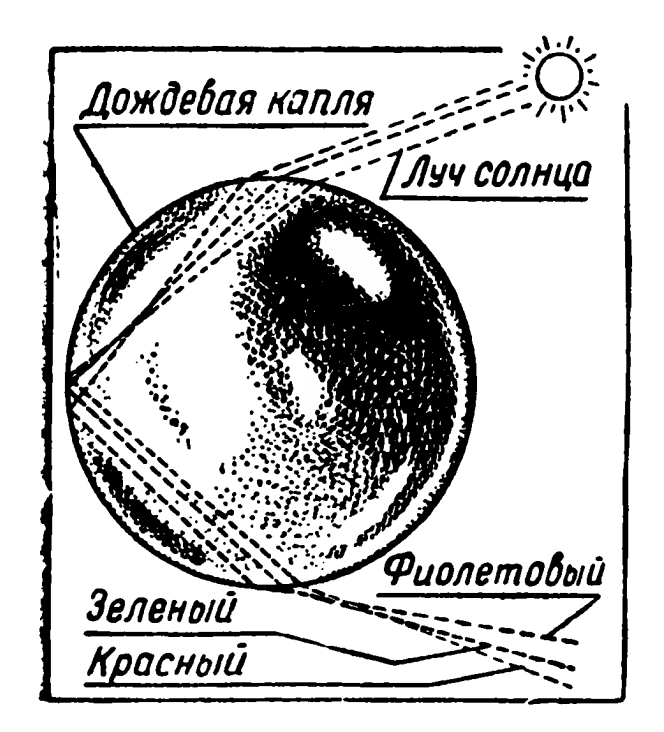
По той же причине: благодаря смешению лучей. Спектр получался у нас в случаях, когда мы направляли на призму узкий луч в определенном направлении. Множество же лучей, падающих на призму в разных направлениях, при выходе из нее смешиваются и спектра не дают. Отдельные цветные лучи, отраженные кристалликами снежинок или стеклянного порошка, соединяются в белую смесь и теряются в общей массе света. Вы различаете мелодию, которую играет музыкант, но если сотни музыкантов будут играть одновременно сотни разных мелодий, возникнет ровный, однотонный шум, в котором невозможно ничего разобрать. Помните выражение «световой шум»?

Только иногда, при ярком солнце, кое-где сверкают на снегу цветные искорки. Это происходит в тех поверхностных кристалликах, которые соответствующим образом расположены относительно падающих лучей солнца и наших глаз — как при опыте с гранью зеркала. В подобных благоприятных случаях красочно искрятся и снежно-морозные узоры на оконных стеклах.

Другое, но довольно редкое явление того же рода — радужные круги вокруг солнца и луны. Бывают они разных размеров

и называются венцами, гало и просто кругами. И здесь разложение света происходит в мириадах мельчайших призмочек — ледяных кристалликов Из таких высоко парящих в атмосфере кристалликов состоят некоторые облака; иногда они бывают очень прозрачны. Когда подобное облако находится между нами и солнцем или луной, эти светила представляются глазам украшенными радужными кругами.

Еще реже, при особом строении облаков, около солнца образуется не один круг, а два, или же к одному примыкают снаружи части других кругов. Местами в них виднеются яркие пятна, а иногда появляются радужные столбы. Невежественные, суеверные, религиозные люди склонны видеть в редких явлениях природы особые предзнаменования; в разложенных солнечных лучах им мерещатся «вещие предметы».



Проникая в каплю, белый луч преломляется и разлагается на цветные. Отраженные внутренней поверхностью воды, цветные лучи покидают каплю. Вторично преломившись при этом, они выходят из капли расходящимся радужным пучком. Между красным и фиолетовым расположены все остальные цвета и оттенки спектра.

Вот что говорится в записи прошлого века, сделанной в связи с русско-турецкой войной:

«В январе во время мороза на небе по сторонам солнца появились две золотые чаши, а в чашах — кресты; над солнцем серп, лезвие которого было синим, а рукоятка огненной: кроме того, и само солнце находилось внутри громадного креста...»

То же, что в кристалликах и призмах, происходит в бриллианте. Вещество его, алмаз, очень сильно преломляет свет, тщательно же отшлифованные его грани занимают всевозможные положения. В результате обеих причин бриллиант, во-первых, особенно хорошо разлагает сложные лучи и сильно рассеивает цветные, и, во-вторых, в нем большее число лучей, чем в каком-либо другом прозрачном теле, претерпевает полное внутреннее отражение. Поэтому при малейших поворотах бриллиант бесподобно сверкает и переливается разноцветными огоньками.

Бриллианту «подражают» иногда водяные капли, хотя у них нет граней и вода преломляет свет намного слабее алмаза. Некоторые лучи солнца, попав в капельку росы, разлагаются на цветные; испытав в ней полное внутреннее отражение и вторично преломившись, они выходят из капли разноцветными пучками. Если на их пути окажется глаз, нам представится, что капля радужно блестит.

Небесный спектр

«Водяные алмазы» — росинки — привели нас к разгадке гигантского небесного спектра — «настоящей» радуги

Причина возникновения радуги была впервые правильно объяснена только в начале XVII века епископом Доминисом. Представители духовенства принадлежали в те времена к наиболее образованным людям; некоторые из них занимались науками. Но за это церковь жестоко преследовала их. Доминис был брошен в тюрьму и, повидимому, отравлен. Его труп и научную книгу инквизиторы публично сожгли.

Может возникнуть недоуменный вопрос: неужели из-за такой безобидной вещи, как радуга? Почему?

Потому что в библии, после подробного изложения легенды о всемирном потопе, говорится: бог обещал человеку никогда более не устраивать потопов. В знак этого, возвестил он, при «наведении им облаков» в них будет появляться радуга; глядя на нее, он будет каждый раз вспоминать о своем обещании...

Если радуга возникает благодаря разложению света в дождевых каплях, то где же тогда место для «божественных чудес»? Согласиться с научным объяснением радуги значило бы признать, что «священное писание» лжет, что его россказни абсурдны, что с помощью библии духовенство обманывает народ.

Теория радуги, исследованная впоследствии полностью, оказалась довольно сложной. Обратим внимание на особенности этого явления.

Не странно ли, например, что радуга неподвижна? Ведь дождевые капли быстро падают.

Отчего, далее, радуга дугообразна? Обычно думают: оттого, что солнце кругло, земля кругла, небосвод выглядит круглым...

Представим себе пучок солнечных лучей, падающих на свободно висящую каплю воды. Некоторые из этих лучей, разложившись и испытав в капле внутреннее отражение, выходят из нее в форме полого радужного конуса. Вообразите вложенные друг в друга разноцветные стеклянные воронки: в красной — оранжевая, в оранжевой — желтая и так дальше, до фиолетовой. Теория и опыт показывают, что весь свет, вышедший из капли, собран главным образом в этой «радужной воронке».

Из мириад дождевых капель исходят мириады таких воронок, обращенных своими широкими отверстиями к солнцу. Предположим, что капли неподвижны в пространстве, а мы, находясь на некотором расстоянии от этой «дождевой завесы», стоим к ней лицом, а к солнцу — спиной. Тогда радужные воронки будут обращены теми же отверстиями и к нам.

Но попадут ли в с е их неисчислимые лучи в наш глаз?

Очевидно, нет, поскольку они идут в различных направлениях. В глаз попадут только непосредственно направленные в него, то есть лишь некоторые лучи от некоторых капель.

Что же это за капли? Как они расположены?

Оказывается, по кругу. Они образуют окружность известных размеров, занимающую определенное положение относительно глаза. Все остальные лучи, возникающие в дождевой завесе, пройдут мимо наблюдателя.

Но от капель идут воронкообразно не белые, а расходящиеся разноцветные лучи; у каждого из них — свое направление. Значит, от какой-то единичной капли может попасть в глаз луч только одного цвета.

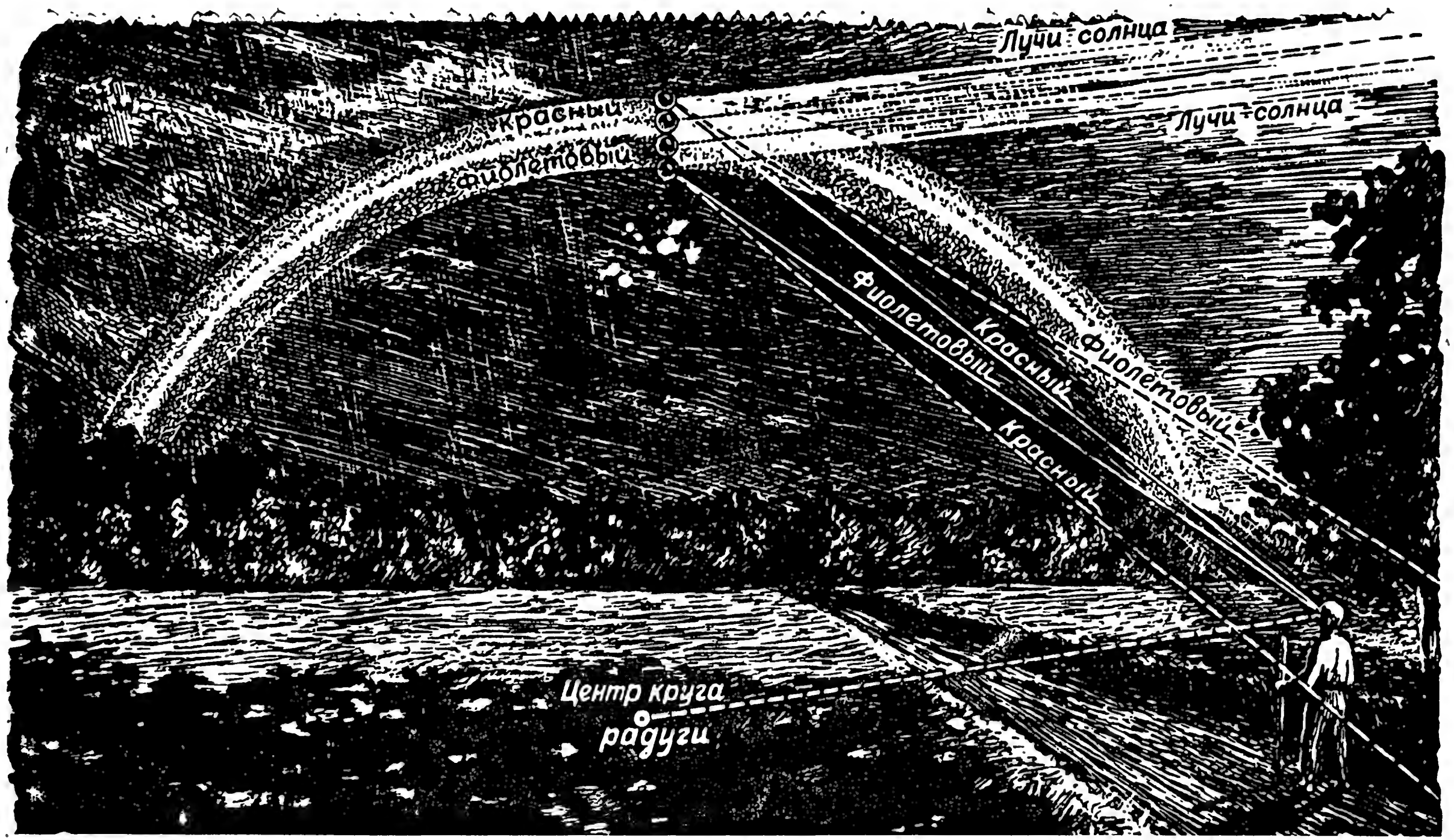
Заметим все капли, от которых идут в глаз красные лучи. Они составят, как видно из сказанного, красную окружность. Отберем затем капли, посылающие в наш глаз оранжевые лучи. Образуется оранжевая окружность, как бы вложенная в красную. Внутри нее окажется желтая; внутри желтой — зеленая и так дальше, до фиолетовой. Получаются переходящие одна в другую световые окружности всех цветов спектра — то, что называется радугой.

Мы говорим «окружности». Но представляется нам на небе только бо́льшая или меньшая радужная дуга. Образованию остальной части окружности мешает земля. Если бы она отсутствовала, а солнце, дождь и наблюдатель оставались на тех же местах, был бы виден полный радужный круг.

Вообразим прямую линию, проведенную от солнца через глаз наблюдателя. Если продолжить ее, она попадет точно в центр круга радуги, под прямым углом к его плоскости. Поэтому сбоку к радуге никак не подойти — она может быть только прямо перед нами. Что же произойдет, если мы отодвинемся в сторону?

Мы увидим радугу на другом месте, в других каплях — в лучах, которые прежде не попадали в наш глаз. Прежние же лучи пройдут теперь мимо нас. Так миллионам москвичей, наблюдающим радугу одновременно на огромной территории города, она будет представляться в разных каплях, в разных местах. Поднимитесь на гору, и радуга поднимется — вы увидите ее в более высоких каплях. Если же поднимется солнце, то радуга, наоборот, опустится.

Теперь понятно, чем вызвано происшедшее на аэродроме недоразумение. Вы видите на небе облачко. Но попробуйте приблизиться к нему «вплотную». Вы попадете просто в туман. Достигнув на самолете дождевой «завесы», мы проникли внутрь зоны, отбрасывающей цветные лучи, вследствие чего они оказались позади нас. В ведре с водой вы видите свое отражение, но, если вы погрузите лицо в воду, оно исчезнет из глаз.



От множества «водяных алмазов» — дождевых капель — исходят мириады разноцветных лучей. Но в глаз наблюдателя попадают только некоторые из них, да и то лишь от некоторых капель. Но и таких лучей и капель много. На рисунке показаны всего четыре капли и по два луча от двух из них.

Какие-то капли шлют в глаз красные лучи; они образуют внешний — красный край радуги. От ниже расположенных капель идут к наблюдателю фиолетовые лучи, строящие внутренний край радуги. Между теми и другими находятся капли, направляющие в глаз лучи остальных цветов спектра.

В наших рассуждениях мы предположили, что дождевые капли неподвижны в пространстве. Но в действительности они быстро падают. Почему же все-таки мы видим радугу неподвижной?

И фильм в кино быстро движется, однако надпись на экране, образованная многими сменяющимися кадрами — отдельными картинками на фильме, «стоит» на месте. Достигается это тем, что каждый кадр на какую-то долю секунды останавливается в аппарате; затем путь лучам, идущим на экран, на миг преграждается вращающейся заслонкой; в этот момент кадр быстро передвигается и точно на его место становится такой же другой; заслонка отходит в сторону, и повторяется то же самое.

У радуги нет такого механизма. Он и не нужен. Дело здесь проще, чем в кино, а именно: от капли, находящейся в какой-то точке радуги, идет в глаз только один определенный луч. Достаточно чуть поднять или опустить каплю, и этот луч уже не попадет в глаз. Капля пребывает в точке только одно мгновение. Но в следующий момент ее заменяет в той же точке другая. Ведь капель — мириады, так что каждую точку пространства в дождевой завесе непрерывно занимают капли. Получается совершенно то же, что в случае, если бы в этих точках все время неподвижно висели несменяющиеся капли.

Ясно, что когда светит солнце, то и при искусственном дожде должна возникать радуга. Поэтому ее и можно увидеть в фонтанах и в каплях воды, разбрызгиваемых брандспойтом или лейкой.

Досадные черточки

Радуга рассказала человеку, из чего состоят солнце, звезды, весь мир. Века и тысячелетия это оставалось загадкой, о раскрытии которой можно было лишь фантазировать, мечтать, как о несбыточном чуде. Некоторые философы даже утверждали, что никогда, никогда человек не узнает состава небесных тел. Иначе говоря, не узнает, что они представляют собой

В самом деле, можно было не сомневаться, что с течением времени люди будут все больше и лучше знакомиться с землей, потому что она у них под ногами; все глубже и глубже они будут проникать в ее пласты и исследовать то, что находится и происходит в ее недрах. В этом нет ничего невероятного. Но солнце удалено от нас на полтораста миллионов километров, а ближайшие звезды — на десятки и сотни тысяч миллиардов километров. Как же возможно узнать, из чего они состоят?

Это казалось немыслимым: против этого протестовал сам здравый смысл. И все же...

Менее века назад произошло крупное в истории наук событие: человек понял язык радуги. С тех пор он успел уже до тонкости изучить его, и теперь химический состав далеких небесных тел даже в большей мере знаком ему, чем состав планеты — земли... Это — не преувеличение и не парадокс. Это просто научная истина, к которой мы еще вернемся.

Мы говорили о науке, как о чуде. Теперь, достаточно подготовленные, вступим во «дворец спектрального чуда». Но предварительно заручимся «пропуском» — исторической справкой.

В начале прошлого века ученый-оптик Фраунгофер воспроизвел в своей мастерской с помощью очень хорошей призмы «кусочек радуги» — спектр солнечного света. «Оптика» (греческое слово) — это то, чем мы с вами занимаемся: раздел физики — учение о свете. Оптикой называется также производство соответствующей аппаратуры и приборов, начиная с очков и кончая микроскопами и телескопами. А оптики — это специалисты, работающие в области как теории, так и технической оптики: ученые, инженеры, мастера

Фраунгофер был искусным оптиком, и самодельная радуга получилась у него гораздо лучше естественной: прекрасная полоса ярких цветов. Но...

Странное явление: сквозь увеличительные стекла спектр казался изрезанным множеством темных линий... Одни были толще, другие — тоньше; одни чернее, другие — бледнее. Они портили великолепную радугу.

Мы не знаем, что Фраунгофер подумал в первый момент. Быть может, он решил, что виновато стекло, и пытался устранить «досадные черточки». Но всякий может быстро убедиться, что сделать это невозможно. Фраунгофер пытался изучать это явление, насчитал в спектре 574 темных линии, проделал ряд опытов, но...

Языка радуги он не понял — не понял, какой кладезь знаний скрывается за ее темными черточками. Он только приблизился к двери, скрывающей тайну, но не открыл ее. И мы не стали бы рассказывать об этом оптике, если бы за замеченными им линиями в спектре не сохранилось название «фраунгоферовых»

Занялись этими линиями и другие ученые, но никому не удавалось «рассекретить» их. Это была одна из тех загадок, что природа задает человеку. И долгое время никто так и не мог понять, о чем повествует на экранах лабораторий радуга.

А она говорила, кричала на своем своеобразном языке: смотрите же, вот из чего состоит солнце! Ее черточки кололи глаз,

но... только смотреть даже на ценнейшую книгу — недостаточно: надо суметь прочесть и понять ее.

Шли годы. С момента первых наблюдений Фраунгофером темных спектральных линий прошло почти полвека.

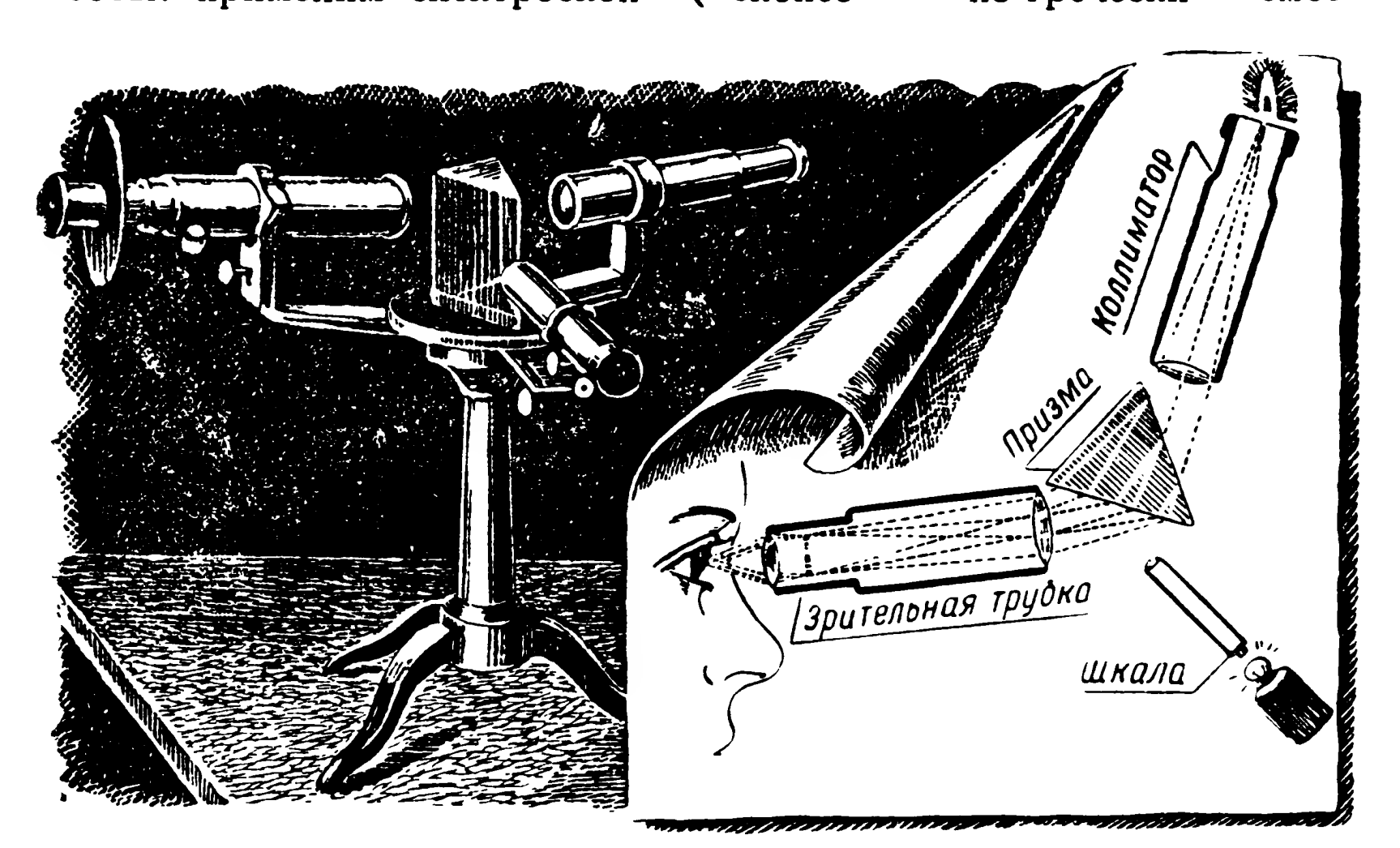
Дальнейшие исследования продолжим сами: как и прежде, повторим мысленно главнейшие опыты ученых. Мы быстро почерпнем из общей сокровищницы наук в готовом виде знания, накопленные в течение тысячелетий упорным трудом очень многих передовых представителей человечества.

Секрет „волшебных трубок“

Помните эксперимент с окрашенным пламенем спирта?

Мы ввели в пламя хлористый натрий — поваренную соль. Призма отбросила на листок бумаги линейчатый спектр излучения: желтую линию, образованную излучением света паров раскаленного натрия. Но, быть может, дело было не в парах натрия, а в хлоре или еще в чем-либо?

Проверим это. Предварительно усовершенствуем технику работы: применим спектроскоп («скопео» — по-гречески «смот-



Исследуемый свет проникает сквозь узкую щель в коллиматор спектроскопа. Выпуклое стекло направляет его почти параллельным пучком на призму. Дважды преломив и разложив лучи на однородные, призма отбрасывает их на стекло зрительной трубки. В третье стекло наблюдатель рассматривает спектр.

На конце третьей трубки находится освещенная лампочкой шкала с делениями. На другом конце трубки — стекло, направляющее лучи от шкалы на грань призмы. Отраженные ею, эти лучи входят в зрительную трубку. Так наблюдатель видит одновременно шкалу и спектр, который представляется наложенным на шкалу. Это позволяет точно определять положение спектральных линий.

рю») — прибор для наблюдения спектров. Он состоит из звездообразно расположенных трех трубок; на месте, где они сходятся, укреплена между концами трубок трехгранная призма. Наружный конец одной из трубок закрыт непрозрачной пластинкой с узкой вертикальной щелью. Сквозь эту щель в трубку входит луч света, который хотят исследовать. Проходя призму, он преломляется и разлагается; разноцветный пучок лучей проникает во вторую трубку и идет вдоль нее. Таким образом, приблизив к концу этой трубки глаз, наблюдатель видит в нее спектр. В обеих трубках имеются увеличительные стекла, о которых еще будет речь.

Третья трубка — вспомогательная. В ее внешнем конце помещается стеклянная шкала с делениями, а во внутреннем, примыкающем к призме, — увеличительное стекло. Эта трубка так расположена, что шкала отражается гранью призмы, и наблюдатель видит ее отражение. Следовательно, он видит одновременно и шкалу, освещенную снаружи специальной лампой, и спектр исследуемого луча. Вследствие этого спектр представляется глазу как бы наложенным на шкалу, что дает возможность определять с большой точностью положение спектральных линий и сравнивать между собой различные спектры.

«Забавная игрушка» выросла в серьезное пособие для изучения «языка радуги».

Мы обзаводимся газовой горелкой и ставим ее перед щелью коллиматора — так называется первая трубка спектроскопа. Вводя поочередно в пламя горелки р а з л и ч н ы е соли натрия, а не только поваренную, мы наблюдаем в трубку спектроскопа о д и н а к о в ы е желтые линии; каждый раз, как показывают деления на шкале, эти линии появляются точно на одном и том же месте. В спектроскоп, кроме того, видно, что они двойные: два тонких желтых столбика, сдвинутых почти вплотную. Их порождают светящиеся пары именно натрия — это уже ясно.

Но, быть может, и другие металлы дают такую же картину, такой же линейчатый спектр?

Берем на лопатку порошки различных соединений металла стронция. Введенные в пламя, они окрашивают его в карминно-красный цвет. Как он красив в темной комнате! Что же это за лучи? Однородны ли они? Посмотрим, что скажет спектроскоп.

Мы заглядываем в «волшебную трубку» и, восхищенные, не можем оторвать от нее глаз: темное пространство пересекает несколько красных столбиков разных оттенков и поодаль от них — голубой. А где же желтые? Их нет...

Соли металла калия окрашивают огонь в фиолетовый цвет. В спектроскоп видно: на одном конце спектра красная линия, на другом — фиолетовая.

Различные соединения металла лития показывают в спектроскопе, неподалеку друг от друга, красную и оранжевую линии.

Эскперименты увлекают нас. Мы достаем все новые химические вещества и вводим их в пламя. Тьму причудливо озаряют красные, желтые, зеленые, синие, голубые, лиловые огни... Мы жадно припадаем к трубке спектроскопа; перед глазом вспыхивают и сменяются, пестря всеми цветами и оттенками радуги, серии столбиков разной ширины и яркости...

Первые опыты с поваренной солью привели нас к заключению: раскаленные пары натрия излучают световые волны определенной длины в узких пределах желтой части спектра. Теперь мы вправе расширить этот вывод:

светящиеся пары химического элемента излучают волны не всех, а только некоторых длин, вследствие чего спектр представляет собой серию отдельных цветных линий;

у разных элементов эти серии различны, но у одного и того же они строго определенные, всегда одинаковые. Следовательно, каждый элемент имеет свой «личный» линейчатый спектр излучения, отличающий его от других. Это — его «паспорт».

Один грамм в миллионе ведер

Приведем результаты наших работ в порядок — зарисуем цветными карандашами спектры всех имеющихся у нас химических элементов.

Оказывается, мы так много экспериментировали, что успели уже запомнить их. Давайте, проверим себя. Мы просим кого-нибудь последовательно вводить в пламя горелки разные порошки. И каждый раз мы правильно угадываем по спектру химический элемент.

Тогда в огонь вносится без нашего ведома смесь из трех порошков. Получается сложный линейчатый спектр: в нем одновременно пестрят три совмещенные серии разноцветных линий.

Сначала мы недоумеваем: что-то необычное! Затем безошибочно называем все три элемента, давшие сложный спектр. А в следующий момент мы восклицаем: «Да ведь это — способ анализа химического состава веществ!»

К такому выводу мы должны были бы прийти, если бы действительно проделали описанные здесь опыты. Подобным примерно образом и был открыт спектральный анализ на самом деле.

Однако понять, додуматься до того, к чему мы пришли сейчас кратким путем, было не так-то просто. Легко теперь нам с вами, когда результаты наших воображаемых опытов заранее

известны и давно хорошо изучены. В действительности все это потребовало трудов многих людей в течение ряда лет.

Так был найден новый способ анализа веществ — способ удобный, быстрый, точный и очень тонкий. Более того, лучом света, распадающимся в радугу, человек стал открывать новые химические элементы. Многие из них встречаются настолько редко и в таких небольших количествах, что открыть их возможно было только спектральным анализом!

Исследование спектров выросло в огромную, самостоятельную область знания — спектроскопию. Спектроскоп служит физикам, химикам, астрономам, биологам, геологам, металлургам и многим другим. Он широко применяется на производствах всевозможных видов и в различнейших лабораториях. Он анализирует все, будь то металл или гемоглобин (красящее вещество крови), какой-либо газ или хлорофилл. Именно он помог Тимирязеву блестяще провести ряд исследований и сделать свое великое открытие.

А знаете ли вы, насколько чувствителен спектроскоп? В поте содержится соль — хлористый натрий. Возьмите платиновую проволочку потными пальцами и введите ее в пламя горелки. Спектроскоп немедленно покажет натрий. Но это — далеко не предел: достаточно внести в огонь 1 : 10 000 000 000-ю часть грамма натриевой соли, чтобы в спектре появилась желтая линия!

Представляете ли вы себе такую ничтожную долю грамма? Растворим мысленно в миллионе ведер (цилиндрических, 10-литровых) воды 1 грамм соли. Поставленные рядом, эти ведра протянулись бы на 225 километров. Зачерпнем теперь из любого ведра 1 кубический сантиметр воды. В нем и будет содержаться одна десятимиллиардная доля грамма соли. Только спектральным — и никаким другим! — анализом возможно обнаружить, что вода в ведрах «соленая». Разве не чудесный это прибор — спектроскоп, не волшебные палочки — его трубки?

Но еще большие чудеса впереди. Именно «чудеса»! То, что мы сейчас видели, достаточно удивительно, однако все же мыслимо: крупинку соли, какой бы ничтожной она ни была, все же возможно ввести в огонь горелки. А вот как достать «кусочек солнца» или звезды, чтобы исследовать в лаборатории его состав?

Так вот в чем дело!

Сейчас мы достанем «кусочек солнца», его принесут нам фраунгоферовы линии — надо только разгадать их секрет.

Сначала установим: одинаковы ли эти линии в спектре всякого белого света?

Для этого впустим в коллиматор луч солнца и тщательно изучим его. Спектроскоп наш невелик, и спектр получается небольших размеров. Поэтому в нем можно различить не сотни, а лишь десятки наиболее густых черных линий. Заметим по шкале положение самых темных и самых широких из них.

Направим теперь в спектроскоп яркий луч белого электрического света. Сосчитаем новые «досадные черточки» и сравним их по расположению с предыдущими.

Электрический спектр получился превосходный. На вид он такой же, как солнечный, но...

В нем нет ни одной темной линии! В чем дело?..

Мы теряемся в догадках. Один за другим проделываем мы разные эксперименты, всячески видоизменяя их. Но тщетно. Лучи света упорно повторяют все то же: солнечный спектр весь исполосован загадочными штрихами, а электрический — чист, как ясный полдень.

Быть может, солнце дает не один, а два или более наложенных друг на друга спектров?..

Попробуем совместить два спектра. Поставим перед спектроскопом горелку с парами натрия и пропустим сквозь них в коллиматор белый луч электрического света. Что же должно получиться? Усилится ли яркость той желтой части спектра, которую образуют лучи лампы и паров натрия? Быть может, — возникает еще одна догадка — для всех других цветных лучей лампы пары натрия непрозрачны, вследствие чего остальные части спектра окажутся вообще темными?

Мы заглядываем в спектроскоп и изумляемся. Оба наши предположения не оправдались. Получилось нечто третье, совершенно неожиданное: на фоне яркого цветного спектра электрического света появилась густо-черная двойная линия!

Мы убираем горелку с парами натрия. Черная линия исчезает.

Снова ставим горелку между лампой и коллиматором. И снова появляется та же линия. Тогда мы гасим лампу. Радуга исчезает, а черная линия превращается в обычную натриевую желтую...

Это понятно: ведь перед коллиматором — горелка с парами натрия. Они и должны давать желтую линию. Но почему, когда позади горелки ставится источник белого света, дающий многоцветный спектр, желтая линия превращается в черную?

Вывод может быть только один: светящиеся пары натрия не пропускают сквозь себя желтые лучи из состава «белой световой смеси». Они поглощают их — и поглощают точно такие лучи, какие они сами испускают. Поэтому черная линия и возникает точно на месте желтой. Однако пары натрия шлют на то же место свои лучи. Но их собственные лучи

сравнительно слабы. Поэтому места, освещенные только ими, и выглядят на ярком фоне сплошного спектра темными.

Мы вводим в пламя горелки другие порошки, другие химические элементы. Все они подтверждают наш вывод. Каждый раз получается то же самое: в сплошном, непрерывном спектре электрического света возникают черные линии; они появляются точно на тех местах шкалы, на которых находятся в линейчатом спектре паров химического элемента его цветные линии.

Смесь из многих порошков дает множество темных линий. Получается спектр, похожий на солнечный...

Так вот в чем дело!..

Опыт еще раз сказал свое авторитетное слово.

Открытие гелия

Среди фраунгоферовых линий есть двойная линия натрия. Мы утверждаем: на солнце есть натрий.

Есть линии железа, водорода, кальция. Значит, на солнце есть железо, водород, кальций.

Опыт показал: непрерывный, сплошной многоцветный спектр дают тела и вещества в твердом и жидком состоянии. Таков же спектр и раскаленных паров — газов, но только в двух случаях: во-первых, если плотность и температура газа очень высоки; в этом случае слой его может быть и сравнительно тонким; во-вторых, если газ хотя и разрежен, но слой его очень толст.

Диаметр солнца достигает почти полутора миллионов километров, средняя же плотность солнечного вещества превосходит плотность воды. Температура поверхности солнца составляет около 6000 градусов, а чем дальше вглубь, тем она выше. При подобных температурах самые тугоплавкие вещества находятся в газообразном состоянии. Следовательно, солнце — это шар из раскаленного светящегося газа. И температура, и размеры, и плотность солнца достаточно велики, чтобы спектр его света был сплошным — радугой, в которой одни цвета постепенно переходят в другие.

Однако у солнца есть атмосфера, состоящая из хотя и раскаленного, но сравнительно более холодного и разреженного газа. Она играет роль паров химических элементов в наших опытах: в некоторых ее слоях световые волны известных длин поглощаются. Вот в чем «секрет» фраунгоферовых линий.

Но ведь полное число фраунгоферовых линий достигает десяти тысяч! Ну, что же, в этом нет ничего удивительного: на солнце много разных химических элементов — тех же, что на земле, причем каждый из них дает ряд линий поглощения. Правда, у натрия всего одна такая двойная линия, зато, например, у железа их четыре с половиной сотни.

Физики и астрономы не только определили по фраунгоферовым линиям имеющиеся на солнце вещества; они обнаружили в солнечном спектре неизвестные черточки — черточки неизвестного элемента... Его назвали «гелием» от слова «гелиос», означающего по-гречески «солнце». Этот загадочный «солнечный элемент» старательно искали на земле целых 27 лет! И, наконец, с трудом нашли. А его оказалось довольно много в воздухе, которым мы дышим... «Поймать» гелий было так трудно потому, что он «ведет себя незаметно» — не вступает в химические соединения с другими элементами.

Итак, мы действительно как бы достали «кусочек солнца» — его протянул нам световой луч.

Итак, спектроскоп показывает состояние веществ и выявляет химические элементы не только под рукой, но также на далеких небесных светилах. И на этих светилах иногда даже раньше, чем на земле.

Но спектроскоп говорит не только о химическом составе, — по сплошному спектру излучения можно судить о температуре раскаленных тел и веществ.

Предположим, что мы нагреваем кусок очень тугоплавкого металла и наблюдаем его в спектроскоп. Сначала этот кусок излучает только невидимые длинные волны — тепловые, но постепенно к ним присоединяются все более короткие. Вот металл уже настолько нагрелся, что стал темнокрасным. Это значит, что он начал излучать свет, то есть длина волн достигла размеров световых. В спектроскопе мы увидим лишь красную часть спектра — участок, образованный цветами наиболее длинноволновых световых лучей.

Нагревание продолжается; более коротких волн возникает все больше; металл становится светлокрасным, затем оранжевым, желтым и, наконец, белым. Вместе с тем растет его спектр: появляются новые цвета и оттенки, вплоть до фиолетовых. Их яркость увеличивается и изменяется пропорция: чем выше температура тела и, следовательно, светлее накал, тем более усиливается сине-фиолетовая часть спектра.

Связь между температурой и пропорциями цветов хорошо изучена. А так как пропорции эти можно в каждом отдельном случае измерять по шкале спектроскопа, то, следовательно, по спектру можно судить о температуре раскаленных тел и веществ. Так спектроскоп позволяет определять высокие температуры там, где измерение их обычными способами неудобно, затруднительно или вовсе невозможно, как, например, температуру расплавленной стали в доменной печи, раскаленных нитей электрических ламп или температуру звезд. Спектроскопу безразлично, как далеки тела; необходимо и достаточно лишь, чтобы от них доходили хотя бы слабые лучи света.

Для «опознания» веществ надо, как мы видели на примере натрия и других химических элементов, переведя крупинку вещества в газообразное состояние, получить линейчатый спектр излучения. Однако, если такой способ исследования очень удобен для физика, химика, биолога, геолога и многих других, то астроному, который имеет дело с телами далекими, недосягаемыми, он совершенно недоступен. Но тут, как мы знаем, на помощь приходит спектр третьего вида — линейчатый спектр поглощения.

Посмотрим, что он рассказал астрономам.

За тысячу „световых лет“

Сначала познакомимся с «космическим метром».

Расстояния как до звезд, так и между ними, невообразимо велики. Исчислять их в километрах так же неудобно, как мерить расстояния между городами микронами. Поэтому в прошлом веке астрономы ввели особую космическую меру. Основана она на скорости распространения света.

В каждые 3⅓ секунды электромагнитные волны проходят в пустоте 1 000 000 километров; каждый падающий на землю луч солнца проводит в пути 8,3 минуты. На языке космических мер это можно выразить так: от земли до солнца 8,3 «световых минуты». Подобный способ измерения расстояний скоростью, временем не нов: всегда говорили, например, «десять минут езды» или «час ходу».

Обыкновенный бинокль увеличивает линейные размеры отдаленных предметов в 2 раза; полевой бинокль — в 6—8 раз, а астрономические трубы — телескопы — в сотни и даже в тысячи раз. Но звезды и в телескоп выглядят только яркими точками. В действительности они такие же огромные раскаленные шары, как солнце. Они и на самом деле являются солнцами, многие из которых в сотни, тысячи и в миллионы раз больше нашего солнца. А солнце — в миллион с лишним раз больше земли... Как же далеки должны быть звезды, если даже в телескоп они представляются точками?..

Расстояния до них измеряются не «световыми минутами», не «днями» и не «месяцами», а «световыми годами». В год же луч света проходит почти 10 тысяч миллиардов километров...

Так велик «космический метр» — «световой год». И так далеки от нас звезды. Только до ближайшей из них более четырех световых лет. Если бы эта ближайшая звезда внезапно погасла, мы бы еще четыре года продолжали видеть ее сверкающей — столько времени доходили бы до нас ее лучи, бывшие в пути.

В надземном мире много двойных звезд. Участницы каждой двойной системы обращаются одна вокруг другой, вроде пары

людей, танцующих вальс. Но люди в таких парах близки друг к другу, а звезды разделены миллионами километров. И все же они не различаются в отдельности — на месте пары мы видим только одну блестящую точку.

Многие двойные звезды «разлагает» телескоп: взглянув на звезду в трубу, астроном обнаруживает не одну, а две блестящие точки. Огромное же число двойных звезд не в состоянии разложить и мощнейшие телескопы. В бессилии перед громадой расстояний отступают и они, и двойная звезда безнадежно остается для глаза лишь одной сверкающей точкой...

Однако, если даже в самые мощные телескопы не видно, что какая-то звезда двойная, то откуда же это известно? Кто может это утверждать?

Спектроскоп. Рассмотрим это на примере.

Одна невзрачная звездочка известна в астрономии под названием Дзеты Возничего. На вид она ничем не отличается от мириад других, ей подобных. Тщательным наблюдением ее в течение ряда лет установлено следующее.

Дзета Возничего — двойная звезда. Составляющие ее не видны в отдельности, однако известно, что одна из невидимок оранжево-красного цвета, а другая — белого. Температура первой несколько выше 3000 градусов, второй — около 15 000. Первая излучает почти в 2000 раз больше света, чем наше солнце, а вторая — в 400 раз больше.

Оранжево-красная «звездочка» в 25 миллионов раз больше солнца, а белая — в 65 раз. Если бы звезды обладали чувством юмора, говорит один астроном, то эта плохо подобранная пара должна была бы вызывать в звездном обществе бурное веселье: похоже на то, как если бы слон подружился с мышью.

Обе звезды обращаются одна вокруг другой; один оборот они совершают в 972 дня. Расстояние между составляющими равно 775 миллионам километров. Это число не так уж велико, учитывая, что диаметр звезды-гиганта превосходит 400 миллионов километров.

Астрономы ухитрились даже «взвесить» Дзету Возничего, и притом каждую из составляющих в отдельности. Белая звезда в 13 раз тяжелее солнца, а оранжево-красная — всего в 32 раза, поскольку плотность гигантских звезд очень мала. Звезды вращаются вокруг своих осей; оранжево-красный гигант совершает оборот вокруг себя в 785 дней.

Астрономы узнали состав веществ этих звезд, их атмосфер и многое другое. И все это — о невидимках.

А самое интересное — до Дзеты Возничего тысяча световых лет.

Таким образом, астрономы открыли то, что было тысячу лет

назад, что происходило задолго до рождения наших прапрадедов. Нарождались и вымирали целые поколения, а лучи света, принесшие от далекой звезды вести, все шли да шли сквозь безбрежный космос. И лишь сейчас они дошли до нас.

Вот один из многочисленных примеров того, что прочтено на языке радуги.

Не звучит ли эта быль удивительнее сказочных чудес?

Несколько слов о мироздании

Не все рассказанное здесь о Дзете Возничего поведал спектроскоп непосредственно. Однако без него нельзя было бы узнать об этой звезде ровно ничего. В первую очередь осталось бы тайной, что звезда двойная. Уже в силу одного этого отпало бы все остальное.

Как же спектроскоп рассказывает о далеких мирах?

Об этом говорят главным образом фраунгоферовы линии. Заметим, что астрономы пользуются не спектроскопом, а подобным ему прибором — спектрографом, которым они фотографируют спектры небесных светил. Световые лучи звезды принимаются телескопом и входят в коллиматор спектрографа; пройдя призму, они направляются в другую трубку, где попадают не в глаз, а на фотопластинку. Получается снимок спектра, спектральная «грамота» — спектрограмма. Это — личный документ, «паспорт» звезды, так как спектры звезд разные.

Представьте себе, что в коллиматор направлены лучи от двух разных источников света. Они дадут, понятно, два разных, наложенных друг на друга спектра. Спектральные линии на спектрограммах многих звезд показывают, что спектров тут два. Значит, звезда двойная.

Участницы звездных пар обращаются одна вокруг другой. Астрономы наблюдают это во всех случаях, когда обе звезды видны в телескоп непосредственно. Так и должно быть: иначе составляющие пару притянулись бы, упали друг на друга. Не исключаются из общего правила и звезды Дзеты Возничего. Это подтверждают спектрограммы: временами, периодически, один из спектров угасает. Происходит это потому, что вторая звезда, меньшая, заходит, «прячется» за бо́льшую. Тогда, кстати, можно изучать спектр первой звезды и отдельно — в «чистом виде».

По спектрограмме легко прочитать на языке радуги о составе, цвете и температуре «невидимок».

Размеры звезд, их «вес», яркость и другие особенности тесно связаны между собой. А поскольку путем спектральных исследований многие величины становятся известными, то по ним, как во всякой задаче, определяют остальные. Так астрономы

после многолетних наблюдений и с помощью различных расчетов узнали о Дзете Возничего то, о чем здесь рассказано.

Звездное небо представляется человеку из года в год и из века в век неизменным: звезды выглядят на нем неподвижными, их взаимное расположение остается одно и то же. Но это только кажется из-за огромных расстояний до них. Точно так мы не замечаем вдали, на горизонте, движения поезда. Кажется, что он стоит, и надо некоторое время наблюдать его, чтобы обнаружить перемену им места.

Звезды движутся со скоростями в десятки километров в секунду. Однако только по прошествии десятков тысяч лет возможно было бы заметить на глаз перемену ими места... Это нагляднее всего показывает, как невообразимо далеки они от нас. Каким же образом мы узнаем о скорости звезд?

Вероятно, вы замечали на железных дорогах одно любопытное явление.

Вы едете в поезде. Навстречу мчится другой поезд, паровоз которого продолжительно свистит. В момент, когда он оказывается рядом с вами, тон свистка заметно понижается. После того как встречный паровоз уже пронесся мимо вас, высота его свиста еще более понижается.

Это явление известно в физике под названием «эффекта Допплера». В чем же его причина?

Могучее орудие

Пусть какое-либо звучащее тело совершает сто колебаний в секунду. Значит, в каждую секунду в ваше ухо ударяют сто звуковых волн. Побегите по направлению к звучащему телу. Получится сумма скоростей — вашей и звуковых волн. Вследствие этого ухо будет наталкиваться в каждую секунду уже не на сто, а на большее число волн. Иными словами, их частота увеличится для вас, то есть тон звука станет выше.

При движении свистящего паровоза и наблюдателя навстречу друг другу ухо принимает в секунду большее число волн, нежели свисток издает в действительности. Но вот паровоз поровнялся с вами. В этот момент вы воспринимаете только действительное число колебаний в секунду. Когда же паровоз удаляется, каждая доходящая до вас волна отстает, вследствие разности скоростей, от предыдущей. Тогда вашего уха достигнет в секунду еще меньшее число волн, то есть частота и тон еще более понижаются.

То же происходит в мире света. Однако наблюдать в быту мы ничего тут не можем — скорость света слишком велика по сравнению с обычными техническими скоростями. Но вообра-

зим на месте луны очень яркий оранжевый фонарь Мы летим к нему, проходя тысячи километров в секунду. Или пусть фонарь летит к нам с такой скоростью. Что должно получиться?

Повысится частота встречаемых нами волн, вследствие чего изменится для нас цвет фонаря: он пожелтеет. И наоборот: при взаимном удалении фонарь покраснеет.

Таким именно образом фраунгоферовы линии говорят и о скоростях звезд. Когда мы сближаемся с какой-либо звездой, частота волн всех ее цветных лучей соответственно повышается для нас. Вследствие этого весь спектр звезды смещается в сторону фиолетовой части, и фраунгоферовы линии оказываются не на обычных, не на должных местах. Их сдвиг совершенно ничтожен, исчезающе мал, однако астрономам удается измерять его. Работы производятся на спектрограммах очень тщательно, с помощью тончайших оптических приборов. По величине сдвига темных линий и вычисляется скорость, с какой мы сближаемся со звездой. В случае удаления звезды фраунгоферовы линии смещаются к красной части спектра.

Доказать на опыте справедливость эффекта Допплера для звука очень легко. Но далеко не просто было по причинам, о которых говорилось, сделать то же для света. Занялся этим вопросом крупный русский астроном Аристарх Аполлонович Белопольский (1854—1934 гг.), прославивший свое имя замечательными спектроскопическими исследованиями надземных миров.

В начале нашего века А. А. Белопольский блестяще разрешил труднейшую задачу. Им был изобретен прибор, в котором быстро вращаются зеркала; падающие на них от неподвижного источника лучи света отражаются и проникают в спектроскоп. Результат получается такой же, как если бы двигался с большой скоростью сам источник лучей.

Знаменитый эксперимент русского ученого, неоднократно впоследствии повторявшийся, приобрел всеобщую известность.

Теперь будет понятно и то, как астрономы обнаружили вращение невидимок Дзеты Возничего вокруг своих осей. Ведь некоторые части вращающихся тел в одни моменты приближаются к наблюдателю, а в другие удаляются от него. Следовательно, и в подобных случаях должен наблюдаться эффект Допплера — смещение спектральных линий то в одну, то в другую сторону. Однако свет излучает в с я обращенная к нам поверхность звезды, представляется же эта поверхность земному наблюдателю лишь точкой. Ясно, что различить лучи, идущие одновременно от разных частей вращающейся звезды-точки, невозможно.

Но вот перед нами звездная пара, например, Дзета Возничего, в которой одна звезда временами затмевает другую — заслоняет ее. При этом наступают моменты, когда незакрытым бы-

вает то один, то другой край заслоненной от нас звезды. В такие моменты спектрограф и улавливает свет отдельно либо от удаляющихся, либо от приближающихся частей звезды.

Вращение ряда звезд вокруг своих осей впервые обнаружил и доказал советский ученый — директор Крымской астрономической обсерватории академик Г. А. Шайн, известный множеством спектральных исследований звезд. За сделанное им большое количество крупных открытий в этой области академик Г. А. Шайн удостоился в 1950 году высокой награды — Сталинской премии первой степени.

Звезды собраны в огромную звездную систему — Галактику. Простым глазом видно на небе 2,5—3 тысячи звезд, но их в Галактике примерно 150 миллиардов.

Астрономы наблюдают в телескопы бледные пятнышки, напоминающие туманные облачка. Эти «пятнышки» называются туманностями. Их спектры показывают, что одни туманности представляют собой гигантские облака разреженного газа, а другие — исполинские звездные системы, подобные нашей Галактике, состоящие из миллиардов звезд и удаленные от нас на миллионы световых лет...

Спектры туманностей свидетельствуют, что эти галактики вращаются и летят в мировом пространстве со скоростями в сотни и тысячи километров в секунду; вращается и несется сквозь безбрежный космос с чудовищной скоростью и наша Галактика, в которой извечно кружатся мириады звезд, в том числе и солнце, уносящее в своем стремительном беге многочисленную семью планет вместе с землей и с нами на 270 километров в секунду.

Обо всем этом повествует свет. Следовательно, он позволяет не только достигать глазом до того, чего нельзя ни потрогать, ни достать рукой, но и проникать умом туда, куда закрыт доступ даже глазу. Сам загадочный, он раскрывает перед нами загадки природы и тайны мироздания.

Так маленькая радужная полоска открыла перед взором человека сказочное, потрясающее в своем величии царство астрономии — вселенную. Мы заглянули лишь попутно, да и то лишь за краешек скрывающей ее завесы.

Так забавная игрушка — призма, ставшая пособием для изучения языка радуги, превратилась в могучее орудие познания человеком мира.

Но не вся честь в этом деле принадлежит спектроскопу. Первое место занимает главное орудие астрономов — телескоп. Спектроскоп — только его важнейший помощник.

КАК СВЕТ ПОВЕСТВУЕТ

„Нечестивое занятие“

ИСТОКИ астрономии («астрон» — по-гречески звезда, светило, «номос» — закон) теряются в глуби десятков веков. Человек всегда наблюдал, как восходят и заходят солнце и луна, и уже в отдаленнейшие эпохи он установил счет времени по этим светилам. Однако он ничего не знал ни о них, ни даже о земле как о планете, на которой он живет.

Человек всегда видел, что к ночи небо покрывается мириадами блестящих точек, которые к утру исчезают. Путем наивных религиозных воззрений он пытался постичь их происхождение. Но даже верующим сказания о том, «как бог создавал мир», не объясняли, что же представляют собой звезды.

Уже в древности некоторые передовые люди, ученые, понимали, что картина мира, нарисованная религиозными легендами, ничего не говорит уму. И до самых последних веков «небесные точки» оставались по сути дела для человека такой же загадкой, какой они были в незапамятные времена.

Поэтому долго, очень долго господствовали превратные воззрения на вселенную. Ее считали в действительности такою, какою она представляется глазу: главное тело в ней — великая земля, неподвижно укрепленная в центре вселенной; все «прочее» мироздание — «маленькие» солнце, луна и звезды созданы богом лишь для обслуживания земли.

При этом сначала, естественно, землю считали плоскостью, с одной стороны которой небесные светила восходят, а с другой — заходят. Позднее было принято, что весь мир, как это представляется глазу, вращается вокруг земли. Эта «система мира», не противоречившая священной книге верующих — библии, составленной нашими далекими невежественными предками, была объявлена «окончательной и непререкаемой».

Таким образом, надземный мир, как это нам, современным людям, ясно, был и в течение тысячелетий оставался для безоружного человека глубочайшей тайной.

Покровы таинственности, один за другим, стал срывать с него телескоп. Это началось с момента его рождения — в 1610 г.

Людей издревле занимали загадочные узоры на луне, рисовавшиеся воображению человеческим лицом; некоторые народы даже считали луну одушевленным существом.

В телескоп всякий мог увидеть на луне долины и горы, отбрасывающие тени. Тени эти явились прямым доказательством того, что луна светит не собственным светом, а освещается солнцем. Этим телескоп сразу же навлек на себя гнев духовенства: получалось, что луна — вовсе не «великое светило», вроде солнца, как о ней говорится в библии.

Планета Венера представлялась в телескоп подобной луне — в виде убывающего и прибывающего серпа. То, как ее серп с течением времени изменялся, окончательно решило старый спор: оно доказало, что Венера освещается солнцем и обращается именно вокруг него, а не вокруг земли. Это шло вразрез с религиозными воззрениями, и церковные власти объявили наблюдение небесных светил в телескоп «нечестивым занятием».

„Иллюзии сатаны“

Первых наблюдателей поразила картина планеты Юпитер в телескоп: они увидели четыре яркие точки — луны, обращающиеся вокруг Юпитера. Современные мощные телескопы показывают одиннадцать лун Юпитера, однако и первых четырех было достаточно, чтобы подорвать доверие к религиозным легендам. Маленькая система Юпитера с его спутниками наводила на мысль о большой — той, о которой говорил Коперник: земля — только одна из планет, которая, наравне с другими, обращается вокруг солнца. Богословы объявили спутников Юпитера «иллюзиями сатаны».

Ненавистный им телескоп добрался до самого солнца: на солнце оказались пятна бо́льших размеров, чем земные материки. Это порочило «созданное» богом великое светило. И церковные власти разослали по католическим университетам Европы приказ, запрещающий упоминать о пятнах на солнце.

Так открытия, сделанные с помощью телескопа, одно за другим привели высшее духовенство в конце концов в ярость. Они угрожали полным разоблачением библейских сказаний. Если так будет дальше, народ потеряет веру в «священное писание»; церковь лишится своей власти, богатств и огромных доходов. Надо покончить с этой опасной астрономией. И Галилей — первый астроном, наблюдавший небесные светила в телескоп, — был брошен в тюрьму. Под угрозой пыток и мучительной смерти его заставили отречься от учения Коперника и собственных открытий, подтверждавших это учение.

Загадкой был в течение тысячелетий Млечный путь — бледная, слабо светящаяся полоса, как бы опоясывающая гигантским кольцом небо. Но едва первый, несовершенный телескоп был наведен на Млечный путь, как древняя тайна мгновенно рухнула. Телескоп «разложил» небесную полосу, так долго волновавшую воображение человека: она распалась на мириады мельчайших, неразличимых невооруженным глазом звезд, словно серебристой пылью рассыпанных на черном бархате.

Сейчас известно, что звезды эти удалены от нас на десятки тысяч световых лет и что все они входят в состав Галактики. С помощью крупнейших современных телескопов астрономы уже проникли в глубь мирового пространства за пределы Галактики радиусом до 500 миллионов световых лет; они уже насчитали в этой «разведанной частице» бесконечной вселенной свыше ста миллионов галактик, подобных нашей.

Так телескоп вооружил и перевооружил человека идейно и указал нашей планете ее скромное место в мироздании. Вместе с тем он подчеркнул величие человека, познающего мир, и величие породившей его Земли, которую человеческий гений подчиняет своей разумной воле.

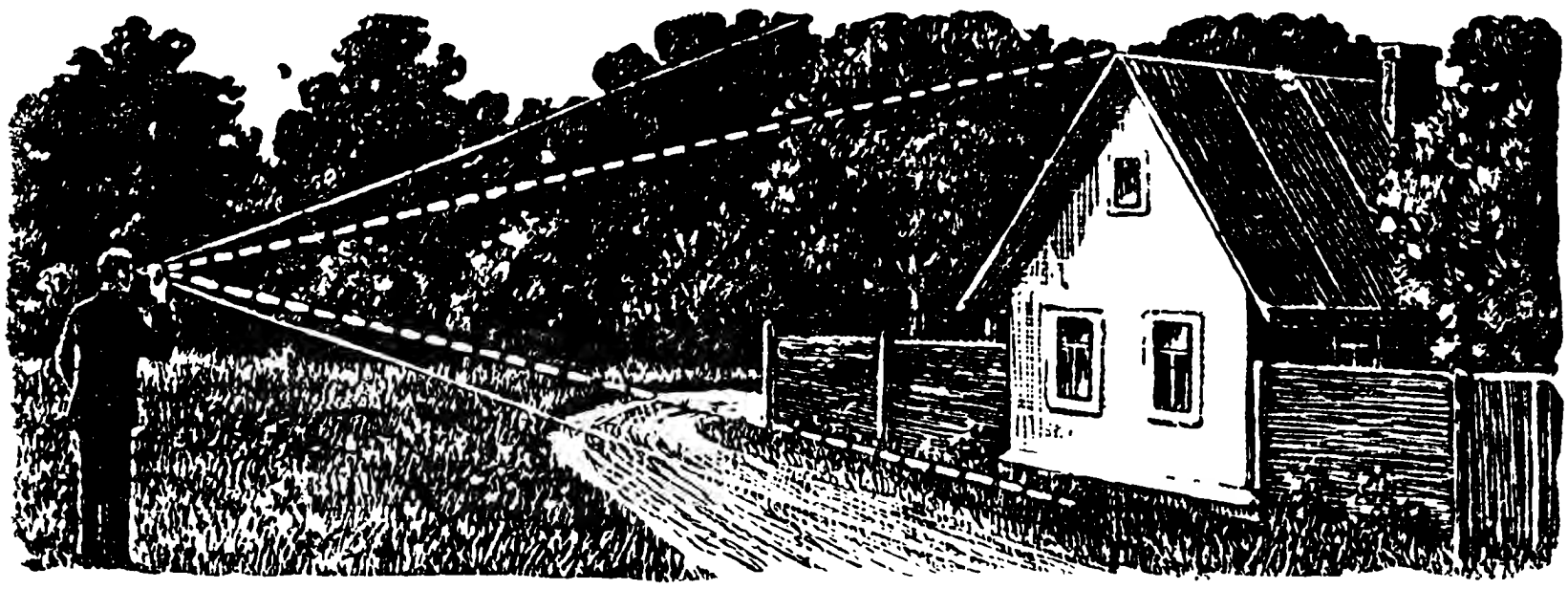
Земля изолирована в мировом пространстве, как бы отрезана от окружающей ее вселенной. Мы не в состоянии не только ничего достать или потрогать за пределами земли; не может быть никакой речи о том, чтобы даже услышать что-либо хотя бы от ближайшего космического тела — луны. Только свет, удивительный, загадочный свет способен бесконечно бежать сквозь пустое пространство. Ему, великому посреднику, связывающему нас невидимыми нитями с мирозданием, обязан своим могуществом телескоп. Поэтому безгранична роль света и в борьбе за правильное миропонимание. И мысль — «свет научного знания рассеивает тьму мракобесия и реакции» — справедлива не только в переносном, но и в прямом смысле.

Природа наделила нас замечательной способностью принимать всевозможные световые послания — зрением. Телескоп и микроскоп — только усилители, вооружение глаза. Основа их чудесной силы уже известна нам: преломление света. Поэтому мы и уделили ему столько внимания.

Вооружение глаза возвращает нас ненадолго к чайной ложке.

Стеклянная чечевица

В стакане с водой ложка кажется набухшей. Следовательно, благодаря преломлению световых лучей предметы могут выглядеть увеличенными. Чем же это объясняется? От чего вообще зависит видимая величина тел?



Видимые размеры тел зависят от угла зрения. Чем ближе предмет, тем этот угол больше. Поэтому близкое яблоко выглядит больше далекого дома. Им можно заслонить дом.

Прежде всего, от их действительных размеров. С другой стороны, чем ближе тело, тем больше оно кажется. Далекий дом выглядит меньше близкого яблока — его можно заслонить яблоком.

Представим себе лучи света, идущие от концов какого-либо стержня к глазу. Они образуют угол, упирающийся своей вершиной в зрачок. От этого «угла зрения» и зависит видимая величина тел. Угол зрения тем больше, чем ближе и больше самый предмет. На большое, но далекое тело угол зрения может оказаться меньше, чем на маленькое близкое. Потому и возможно близким яблоком заслонить далекий дом.

Ложка отражает лучи света. Выходя из стакана с водой, они изменяют свое направление. Проследив ход этих лучей, мы устанавливаем: благодаря перемене их направления получается б о л ь ш и й угол зрения, вследствие чего ложка и представляется разбухшей.

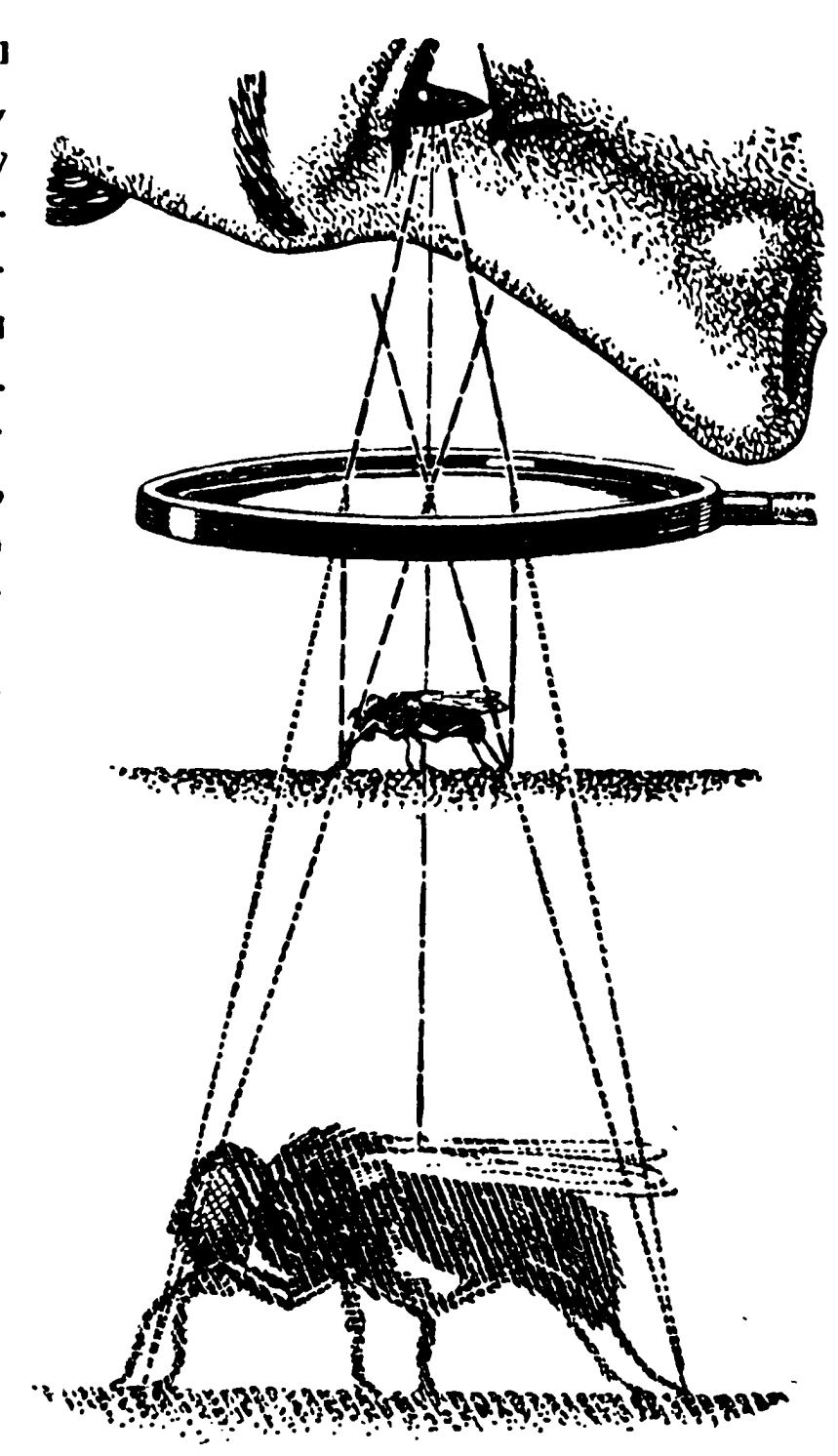
При этом мы видим уже не ложку, а позади нее ее м н и м о е изображение.

Чем же вызван именно такой ход лучей?

Цилиндрической формой преломляющего вещества — воды, которую придал ей стакан: он круглый, в ы п у к л ы й. Но цилиндрическая поверхность представляет собой плоскость, изогнутую только в одном направлении. Поэтому ложка в стакане с водой, если смотреть на нее сквозь воду сбоку, выглядит разбухшей только вширь, а не вверх и вниз.

Нетрудно достигнуть равномерного увеличения во все стороны. Для этого можно взять стеклянный кружок с ш а р о в о й поверхностью, то есть одинаково выпуклый в обоих направлениях. Можно по желанию сделать его таким либо с одной, либо с обеих сторон.

Стекла подобной формы принадлежат к главному, основному, важнейшему виду стекол, входящих в большинство оптических приборов. Двояковыпуклые, они напоминают зерна чечевицы. В оптике за ними и закрепилось название «чечевица», или «линза» (в переводе на русский язык слово «линза» и означает «чечевица»). Позже линзами и чечевицами стали именовать и одновыпуклые, и разного рода вогнутые, и выпукло-вогнутые стекла, хотя на чечевицу они уже не похожи.



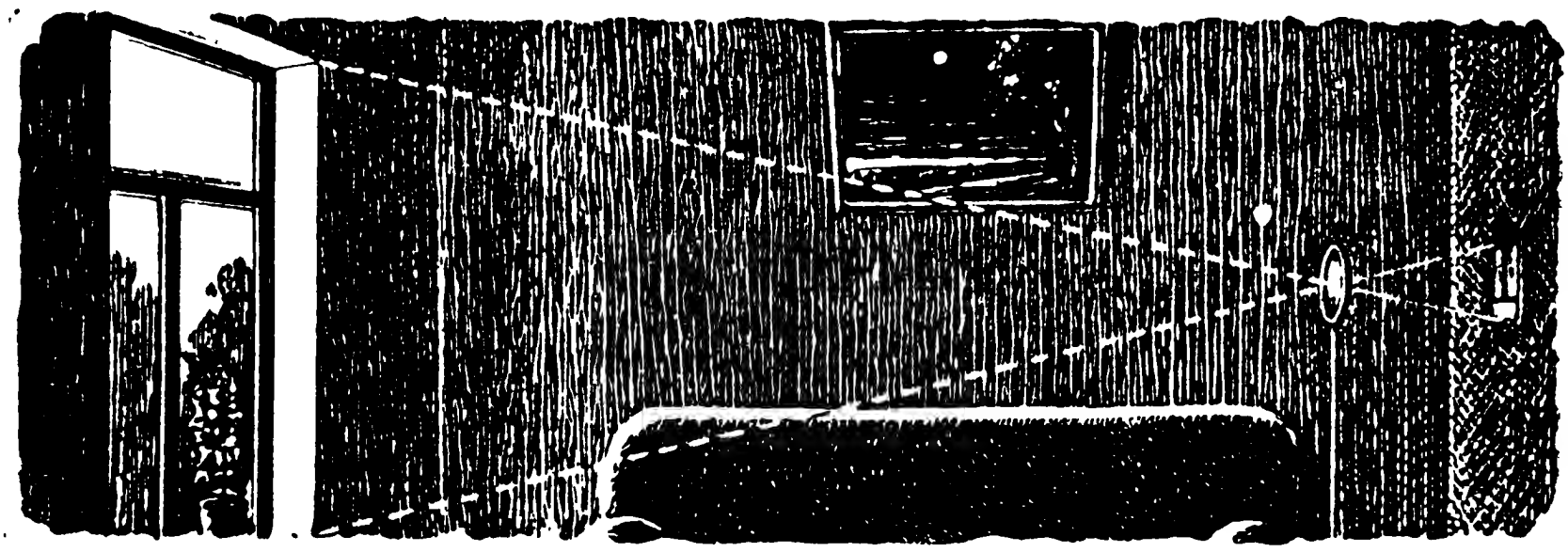
Каждая точка предмета отражает во все стороны лучи света; здесь показано для простоты только по два из них от двух крайних точек предмета.

Преломляясь в выпуклом стекле — лупе, лучи идут в измененных направлениях. Поэтому отдельные места предмета, как монеты в кружке с водой, представляются не там, где они в действительности, а в точках пересечения прямых лучей зрения. Так перед глазом возникает мнимое увеличенное изображение предмета.

Выпуклые линзы называются также увеличительными стеклами и лупами. С их помощью можно, например, прочесть вблизи мелкий шрифт или разглядеть крохотные детали часового механизма. Стекла очков, какими пользуются большей частью пожилые люди, — не что иное, как выпуклые линзы.

Положим такие очки на газету и, не нагибаясь к ним, начнем медленно поднимать их. Печатный шрифт будет как бы расти сквозь очки. На определенном расстоянии от газеты увеличение, при наилучшей четкости букв, станет наибольшим. В этом случае чечевица действует в качестве лупы. При дальнейшем ее удалении от газеты буквы хотя и будут еще увеличиваться, но начнут мутнеть и расплываться. Затем они и вовсе исчезнут, после чего возникнет другое явление: шрифт снова станет видимым сквозь стекло, но представится он «вниз головой».

Исследуем это явление. Прикрепим к стене напротив окна листок бумаги. Приложив к нему плоскостью очковое стекло, будем отодвигать его от стены. При известном расстоянии



Муха и ее изображение на предыдущем рисунке расположены с одной стороны линзы — лупы. Если удалить линзу от предмета, то изображение его, например окна, получится с другой ее стороны. При значительном расстоянии оно будет уже не увеличенным, а уменьшенным, причем не прямым, а перевернутым, и не мнимым, а действительным: его можно принять на экран, например, на стену. Ход лучей показан на дальнейших рисунках.

стекла от стены на листке появится четкое уменьшенное изображение окна в перевернутом виде.

Тут чечевица действует уже не как лупа. Во-первых, она не увеличила, а уменьшила изображение; во-вторых, изображение возникло в перевернутом виде; в-третьих, отброшенное на экран (листок бумаги), оно уже не мнимое, а действительное; в-четвертых, предмет и его изображение оказались не по одну и ту же сторону линзы, как, например, газетный шрифт при предыдущем опыте, а с разных сторон; в-пятых, на экране возникло изображение не близкого, а отдаленного предмета — окна.

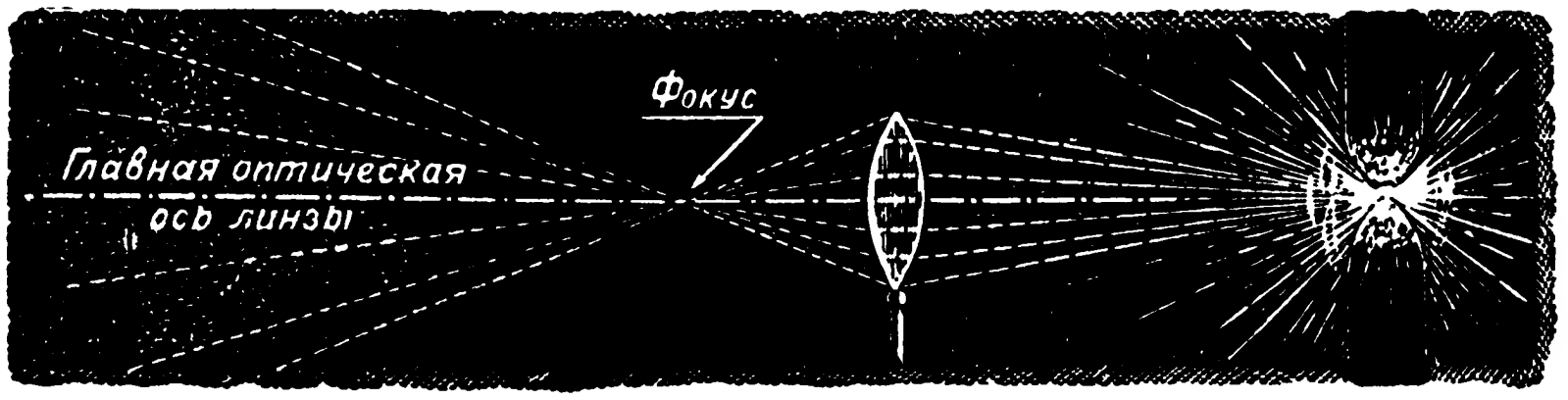
Этот простой опыт сразу рождает мысль: а нельзя ли «поймать» чечевицей на лист бумаги и очень далекий предмет, например, луну?..

Свет увековечивает прошлое

В последней фразе прозвучал намек на телескоп. Однако до телескопа еще далеко. Очки существовали уже долгое время, уже давно люди научились шлифовать стекла, а телескопа все еще не было. Не так-то легко даются открытия и изобретения, хотя многие из них и очень просты, гениальны по своей простоте. Но так расценивать их возможно только тогда, когда они сделаны и известны. А какой долгий путь вел к ним, как трудно было додуматься до этих «простых вещей»...

Посмотрим, почему на экране возникло изображение окна.

Пусть на месте окна будет светящаяся точка. От нее исходят во все стороны лучи света, часть которых падает на поверхность линзы. Теория и опыт показывают: преломившись, выходящие



Электрическая дуга (примем ее «точечным» источником света) шлет по всем направлениям мириады лучей; часть их падает на линзу. Преломившись в ней, они пересекаются с другой стороны линзы примерно в одной точке — фокусе, и идут дальше. Если перенести источник света в этот фокус, то преломленные лучи соберутся там, где источник света был прежде. Такие пары фокусов называются сопряженными.

из линзы лучи образуют конус. Иначе говоря, они сойдутся с другой стороны линзы; линза соберет их почти в одной точке. Поэтому выпуклые стекла называются еще «собирательными».

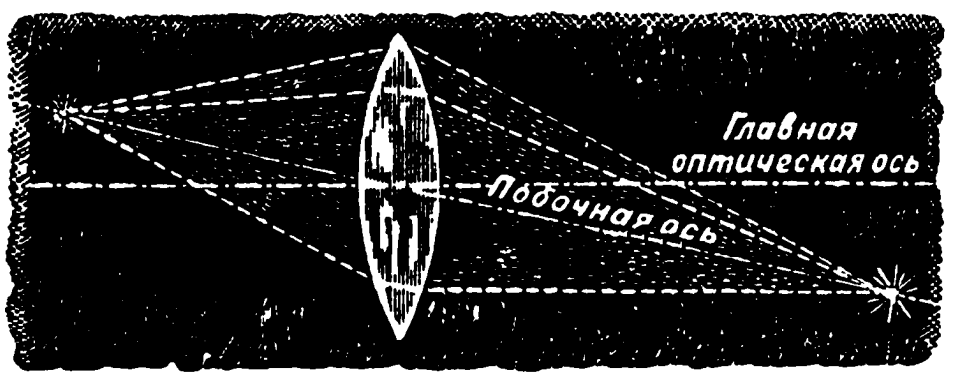
После пересечения лучи продолжат свой путь уже расходящимся пучком. Но нас сейчас интересует точка пересечения. Если подставить под нее экран, она ляжет на него. Что же это за точка?

Несомненно, это — изображение источника света у окна. Поднимем этот источник. Тогда его изображение на экране опустится. Как чаши весов: одна поднимается — другая опускается. Чечевица играет тут роль как бы опоры. Положите на опору доску. При подъеме одного конца доски другой опускается.

Поместим н а д светящейся точкой другую. Чечевица и от нее соберет часть лучей. И п о д первой точкой появится на экране вторая.

Соединим обе светящиеся точки яркой линией. Всякую линию можно рассматривать как ряд многих точек. Чечевица даст изображение каждой из них: она построит на экране, точка за точкой, линию в обратном положении.

Поверхности тел — дома, окна, человеческого лица — также можно представлять себе в виде множества точек. Из отражаемых ими лучей чечевица создает изображения этих тел.



Когда источник света поднимается, фокус опускается, и наоборот. Поэтому действительные изображения верхних частей предмета и оказываются внизу, а нижних — наверху: изображения получаются перевернутыми.

Фотография позволяет закреплять такие изображения. В этом случае принимающим экраном служит матовое стекло фотоаппара-

та. При съеме оно заменяется светочувствительной пластинкой.

Если значение фотографии в быту достаточно велико, то в науке и технике оно огромно. Фотографией пользуются во многих областях, в некоторых же она совершенно необходима. Фотоаппарат — это беспристрастный свидетель, а светоснимок — точный и неоспоримый документ. Все в природе и в человеческом обществе движется и изменяется, зарегистрированное же снимком событие или явление остается неизменным. Он как бы останавливает время, увековечивает прошлое. События и картины, зрителями которых были немногие, могут где угодно, когда угодно и сколько угодно долго видеть на фотографиях миллионы людей.

Так преломленными лучами свет рисует и чертит, записывает и свидетельствует, показывает и доказывает, сигнализирует, контролирует и с помощью кинематографии тысячи раз воскрешает перед неисчислимыми зрителями дела давно минувших дней.

Главный оптический прибор

На свойствах выпуклых чечевиц основана работа и главного, самого важного оптического прибора, без которого все без исключения остальные были бы совершенно бесполезны. Это — светопринимающий орган, которым снабжен наш организм, — глаз.

Устройство и теория зрительных органов очень сложны. Они выходят далеко за пределы оптики. Однако сам глаз — все же оптический инструмент: в нем имеются и линза и светочувствительный экран, на котором возникают изображения предметов. Таким образом, преломлению света мы обязаны не только возможностью познавать макрокосм и микромир, но и самой способностью видеть.

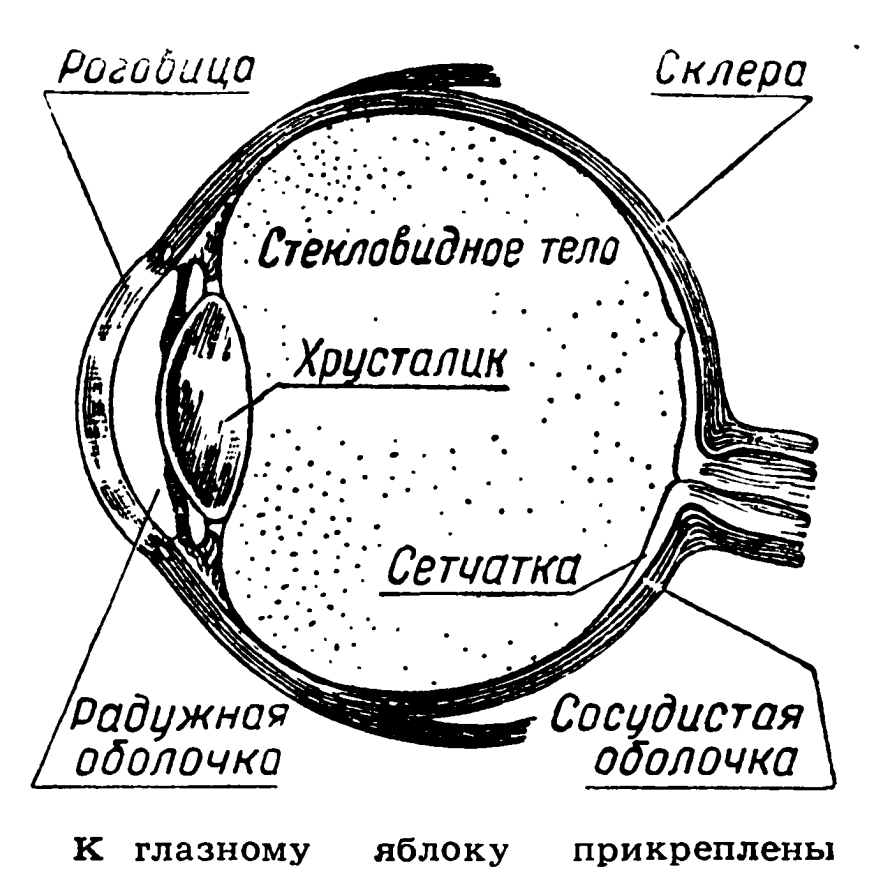
Экран, расположенный в задней части глаза, называется сетчаткой. Он представляет собой разветвление зрительного нерва, идущего к головному мозгу. «Живой линзой» служит упругое двояковыпуклое прозрачное тело — хрусталик. В глазу имеются еще другие прозрачные вещества; они также преломляют световые лучи, помогая работе хрусталика.

Глаз обладает замечательной способностью, какой нет ни у одного из сделанных руками человека оптических инструментов.

Под точки пересечения лучей, шедших от окна и преломленных чечевицей, мы подставляли листок бумаги. Получалось четкое изображение окна. Если сближать или удалять друг от друга чечевицу и бумагу, то на листок будут ложиться уже не точки пересечения, а более или менее сходящиеся или расходящиеся лучи. Изображение, понятно, начнет терять резкость. Оно будет мутнеть, расплываться и, наконец, вовсе исчезнет.

От чего же зависит расстояние между экраном и чечевицей, при котором изображения получаются наиболее ясными?

От двух причин: от расстояния между предметом и чечевицей и от ее способности преломлять световые лучи. Чем чечевица выпуклее, тем сильнее она преломляет лучи и тем ближе к ней они сходятся. С удалением предмета от одной и той же чечевицы изменяется наклон падающих на нее лучей. В этом случае преломленные лучи также сходятся в точке все ближе к чечевице.



К глазному яблоку прикреплены снаружи шесть мышц, которые дают возможность поворачивать глаз в любых направлениях в пределах почти полукруга.

Глазное яблоко покрыто белком, или склерой — твердой, непрозрачной белой кожицей. С ней соединяется расположенная спереди более выпуклая прозрачная оболочка — роговица. Под склерой находится сосудистая оболочка, содержащая множество кровеносных сосудов; она служит для питания глаза.

Позади роговой лежит радужная оболочка, придающая глазам их цвет. В середине ее имеется круглое отверстие — зрачок. Под действием яркого света зрачок «автоматически» суживается, чтобы пропускать меньше лучей, и наоборот.

Пространство между хрусталиком и роговицей наполнено прозрачной жидкостью — водянистой влагой. В остальной части глаза находится прозрачное студенистое вещество — стекловидное тело.

Предположим, что мы пожелали сфотографировать какой-то предмет. Но его изображение на матовом стекле неясно, нечетко. Как навести его на резкость?

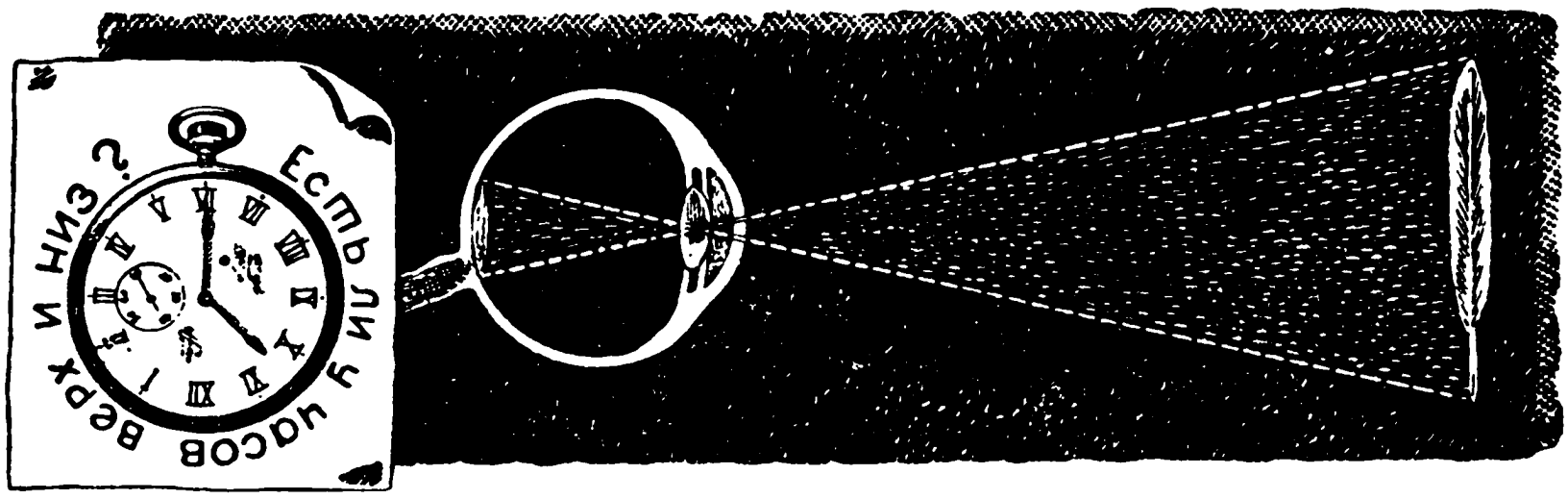
Для этого надо изменить либо выпуклость линзы, либо расстояние между линзой и предметом или линзой и экраном.

Первый способ исключается: линзы делаются из жесткого материала, так что придаваемые им на заводах точные формы остаются всегда постоянными. Поэтому приходится изменять при фотографировании расстояния: в одних случаях — между аппаратом и предметом, а в других — между линзой и экраном.

Чтобы пользоваться вторым способом, фотоаппараты делаются раздвижными.

Глаз — не раздвижной аппарат: расстояние между хрусталиком и сетчаткой остается постоянным. Как же мы видим с одного и того же места и близкие и далекие предметы одинаково ясно, четко?

Изменяется с помощью особых мышц кривизна, выпуклость хрусталика. Эта способность называется «аккомодацией» (от латинского слова «приспособление»). Хрусталик приспособ-



Хрусталик — это «органическая линза». Он дает на сетчатке перевернутые изображения предметов, на которые мы смотрим. Но значит ли это, что мы видим все «вверх ногами»?

Ни в коем случае! Взгляните на эти часы. Вы не сразу разберете, сколько они показывают. Значит ли это, что цифры «неправильно» расположены?

Ни в коем случае! «Правильное» расположение цифр на часах — условно. Оно может быть любым иным. Если бы все заводы в мире всегда выпускали только такие часы, какие показаны здесь, то именно их расположение цифр было бы обычным и, следовательно, нормальным. Все дело только в привычке.

Относительное расположение предмета в пространстве и его изображения на сетчатке могло бы быть любым иным. И любое иное, к которому мы привыкли бы с младенческих лет, было бы правильным, нормальным. Дело лишь в увязке зрительных впечатлений с положением предметов и их частей в пространстве. Способность такой увязки требует только навыка, который приобретается с опытом. Ребенок, еще не имеющий этого навыка, вообще не ориентируется в пространстве.

ляется к расстоянию: когда мы смотрим на отдаленные предметы, он становится более плоским, а на близкие — более выпуклым. Это происходит непроизвольно; мы не сознаем и даже не чувствуем этого, так же как не замечаем и не ощущаем работы кровеносной системы и пищеварительных органов.

У некоторых людей — их называют близорукими — хрусталики слишком выпуклы и не могут становиться достаточно плоскими, чтобы изображения даже не очень далеких предметов получались на сетчатке четкими, резкими. Эти предметы представляются таким людям размытыми, расплывчатыми. Ясно видят близорукие только на очень небольших расстояниях. Поэтому им приходится носить очки с вогнутыми стеклами, которые как бы погашают излишнюю выпуклость хрусталиков.

Противоположный недостаток зрения — дальнозоркость. У дальнозорких людей хрусталики, наоборот, слишком плоски и неспособны становиться достаточно выпуклыми, чтобы наводить на резкость изображения близких предметов. Поэтому на больших расстояниях дальнозоркие видят хорошо, а на малых — плохо, неясно. Для работы и чтения им необходимы очки с выпуклыми стеклами, которые возмещают недостаточную выпуклость хрусталиков. Способность аккомодации утрачивается обычно с возрастом; хрусталики становятся все более плоскими и теряют подвижность. Это заставляет пожилых людей прибегать с течением лет к помощи все более выпуклых стекол.

Одним ударом двух зайцев

Что получится, если держать линзу не перед экраном, а перед глазом?

Тогда мы непосредственно увидим построенные ею уменьшенные перевернутые изображения отдаленных тел и притом вблизи от глаза. Близкое же, хотя и маленькое изображение далекого предмета может, как мы знаем, оказаться под бо́льшим углом зрения, чем самый предмет.

Заметим это и сделаем еще шаг вперед: будем рассматривать изображения не простым глазом, а в лупу. Тогда углы зрения наверняка возрастут, и далекие тела покажутся сквозь две линзы увеличенными.

Прекрасно. Однако держать эти линзы — одну возле глаза, а другую в вытянутой руке — очень неудобно. Лучше всего укрепить их на чем-либо. Кроме того, наблюдениям мешает рассеянный в пространстве боковой свет. Хорошо бы промежуток между чечевицами завесить со всех сторон чем-нибудь непрозрачным, темным. Как же лучше всего сделать это?

Убьем одним ударом двух зайцев: укрепим обе линзы на концах металлической трубы.

Получилась зрительная труба. Если хотите — астрономическая, телескоп.

Первая чечевица, обращенная к наблюдаемому предмету, называется объективом, что значит по-латыни «предметный» (от слова «объект» — «предмет»). Вторая чечевица, которую наблюдатель приставляет к глазу, чтобы рассмотреть в нее получившееся в трубе изображение далекого тела, называется окуляром (от латинского слова «глазной»).

Таким образом, объектив телескопа улавливает лучи света от небесных тел и строит из них изображение внутри трубы. Он как бы подносит эти тела к наблюдателю, «достает звезды с неба» и ставит их перед окуляром.

Строгий читатель может сказать: такая зрительная труба никуда не годится — в нее все видно «вверх ногами».

Эта беда не так уж велика. Во-первых, в мировом пространстве и у космических тел нет ни верха, ни низа. Астроному и фотопластинкам совершенно безразлично, в каком положении получаются изображения небесных светил. Во-вторых, между объективом и окуляром можно поместить в трубе дополнительную чечевицу; она перевернет опрокинутое изображение, и все снова «станет на ноги». Получится «земная» подзорная труба. Такими трубами пользуются, например, на море.

Есть беда похуже, с которой нам скоро придется познакомиться. Но сначала займемся микроскопом.

„Ни шагу дальше!“

Все сказанное о чечевицах одинаково относится и к телескопу и к микроскопу. Работа обоих приборов основана на одном и том же, вследствие чего и устройство их в основном одно и то же. У того и другого имеются стеклянные объективы, создающие в трубах или трубках изображения наблюдаемых тел; и тут и там эти изображения рассматриваются в окуляры, состоящие из одной или более выпуклых чечевиц.

Однако телескоп служит для наблюдения хотя и больших, но очень далеких, недосягаемых тел. А микроскопом пользуются для исследования тел хотя и близких, но очень мелких, едва различимых и даже невидимых невооруженным глазом.

Под микроскоп исследуемые тела подкладываются как можно удобнее и хорошо освещаются. Телескопические же тела вообще невозможно ни поднести к телескопу, ни осветить. А сами они — в большинстве своем это далекие звезды и туманности — излучают очень мало света.

Поэтому объективы телескопов выгодно делать по возможности большими: чем больше площадь объектива, тем больше света он собирает.

В глаз световые лучи проникают через зрачок. Зрачки прозрачны; черными они только выглядят — как окна домов, когда мы смотрим на них с улицы. Зрачки — это «окна» глаз. Поперечник стекла крупнейшего объектива телескопа несколько превосходит 1 метр. Этот объектив собирает в десятки тысяч раз больше света, чем маленький зрачок человеческого глаза.

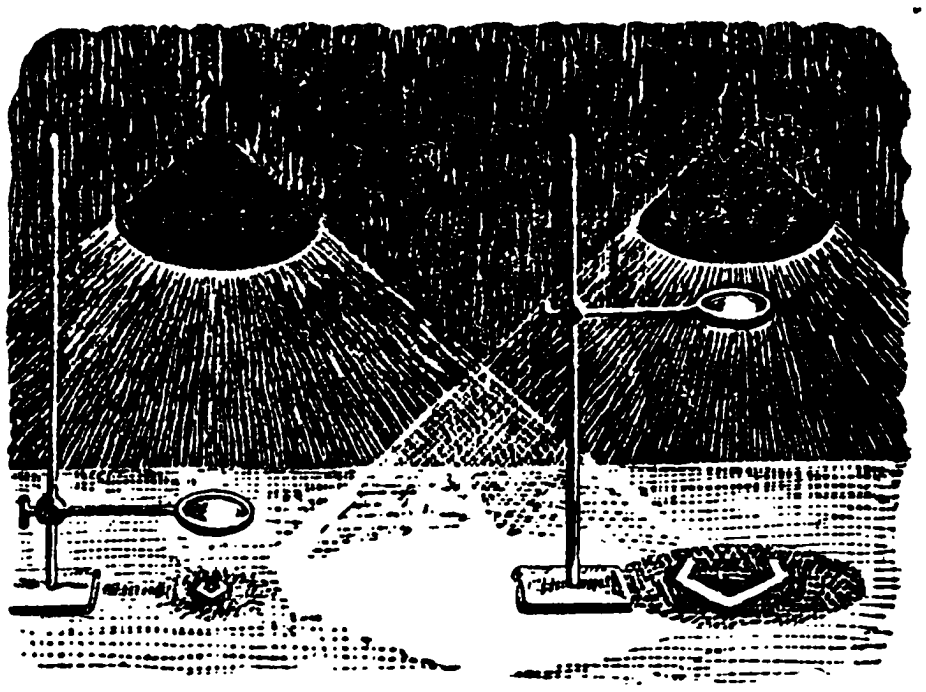
От большинства звезд мы получаем так мало света, что вовсе не видим их простым глазом. Телескопы, «вбирающие» сравнительно много света, открыли взору человека мириады таких невидимых звезд. Но надо сказать, что с увеличением размеров объективов неимоверно возрастают трудности их производства.

Чем менее выпукла линза, тем дальше от нее, как мы знаем, получаются изображения отдаленных тел и тем больше их размеры. Таким образом, в телескопах выгодны слабо выпуклые объективы. Уже одна эта причина влекла за собой удлинение труб. Их длина достигала в былые времена десятков метров! Нелегко было пользоваться подобными громоздкими инструментами. Однако астрономы все же справлялись с ними и вели наблюдения небесных светил.

Но рассматривать в трубу длиною в десятки метров и сечением в десятки сантиметров бактерии в капле воды — явно неудобно и нелепо. Прибор для исследования микромира должен быть, естественно, по возможности небольшим. И благодаря одной особенности выпуклых чечевиц, он может, в отличие от ге-

лескопа быть именно таким.

Пусть невысоко над столом висит электрическая лампа. Положим на стол лист бумаги, а на лист под лампу — довольно выпуклую чечевицу. Будем медленно поднимать чечевицу. Подобный опыт мы уже проделывали и знаем, что получится: на листке появится значительно уменьшенное, перевернутое изображение раскаленной нити лампы. При определенном малом расстоянии чечевицы от листа оно становится наиболее ясным, резким, четким.



Так, точка за точкой, пересекающиеся преломленные лучи строят на экране действительное перевернутое изображение предмета, например раскаленной нити электрической лампы на столе. Подобных изображений может быть два: одно — увеличенное, другое — уменьшенное, Здесь оба случая рядом. Обратите внимание на расстояния между линзой, лампой и экраном. Причину происхождения двух изображений показывает следующий рисунок.

Продолжаем двигать чечевицу от листа к лампе. Изображение нити мутнеет, расплывается и переходит в растущее светлое пятно. Но вот в пятне снова начинают вырисовываться очертания нити, на этот раз значительно увеличенной!

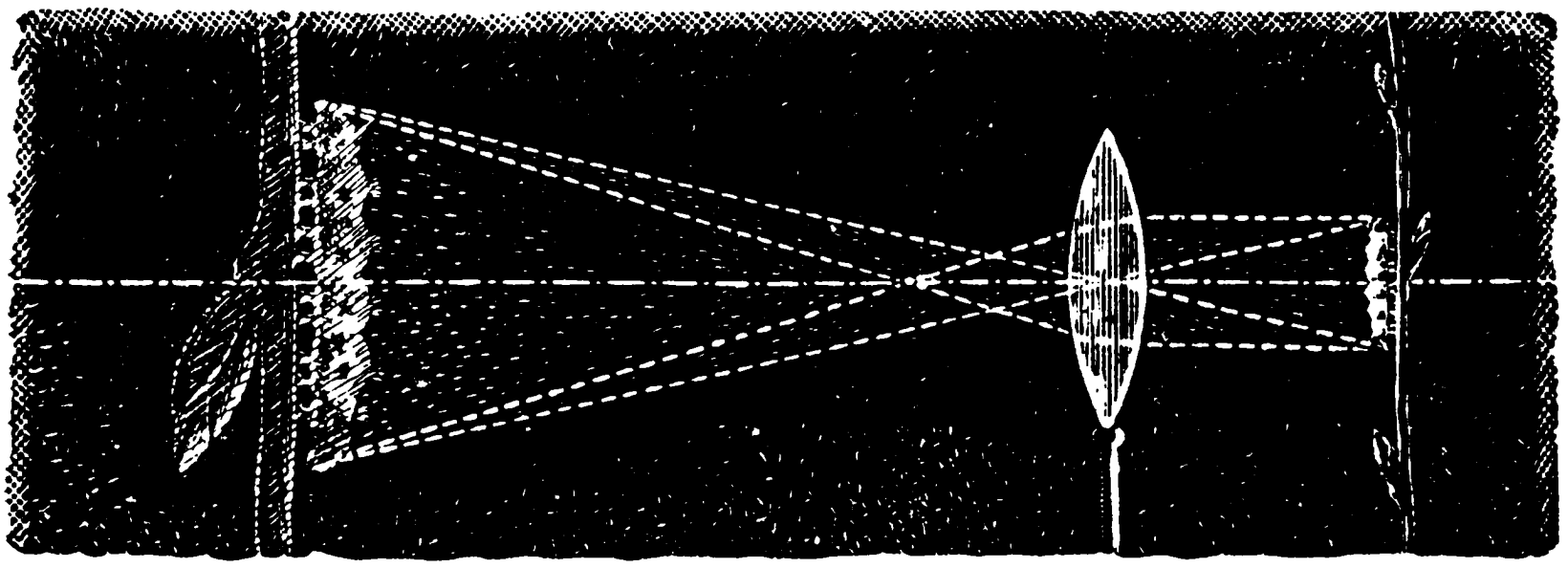
Наконец, когда чечевица оказывается на таком же расстоянии от нити, на каком она была прежде от листа, крупное, яркое изображение нити опять становится совершенно четким, резким.

Несложное исследование хода преломленных лучей показывает нам, отчего и как это происходит. Способность чечевицы создавать таким образом действительные увеличенные изображения как нельзя лучше подходит для микроскопа.

В самом деле, ведь подобное изображение нити мы получили, приблизив к ней чечевицу. А в микроскопе, в отличие от телескопа, возможно подносить рассматриваемые тела как угодно близко к объективу. Благодаря этому в объективах микроскопов выгодно применять не слабо, а сильно выпуклые линзы: чем они выпуклее, тем сильнее преломляются лучи и тем больше размеры изображений.

В этом — в способе построения объективами изображений — и заключается основное оптическое различие между микроскопом и телескопом.

Можно ввести в микроскоп еще одну линзу, которая из первого изображения построит перед окуляром второе, еще более увеличенное. Однако бесконечно возрастать увеличение не может.



Изображения строятся множеством лучей; простоты ради здесь показано только по два из них от двух крайних точек предмета. При этом расстоянии между линзой и предметом изображение получилось перевернутым, увеличенным.

На основе свойства сопряженных фокусов предмет и его изображение могут поменяться местами. Тогда линза «превратит» большую гусеницу в маленькую: на прежнем месте гусеницы появится ее уменьшенное перевернутое изображение.

Слишком мелкие тела, начиная с какого-то предела, не могут быть видимы даже в сильнейший микроскоп. Предел ставит тут в первую очередь сам свет: до сих пор — и ни шагу дальше!

Рассмотрим это явление на одном интересном примере. Для этого совершим в воображении фантастический полет.

Из окон межпланетной ракеты

Мы любуемся в ясный день чистотой голубого небесного цвета. Мы так привыкли к нему, что он не вызывает ни вопросов, ни удивления. А удивляться есть чему. Ведь на много километров над землей простирается воздух, а воздух прозрачен и бесцветен...

Наши далекие предки думали, что небесный свод голубой; они представляли его себе твердым и прозрачным, вроде стеклянного колпака, которым накрыта сверху земля. Но ведь в действительности его не существует...

Давайте поднимемся на небо; посмотрим, как оно выглядит на большой высоте. Правда, до сих пор люди еще не совершали внеземных путешествий. Но современные наука и техника находятся на таком уровне, что уже можно представить себе картину подобного полета.

Золотисто сияет полуденное солнце. Мы размещаемся в ракете и с огромной скоростью покидаем землю. Пролетев атмосферу, мы с любопытством бросаем взор в окна ракеты на голубой небосвод, но... не видим его. Что случилось?

Перед нами странный вид: все краски исчезли; кругом тем-

но. Непривычно сверкает на совершенно черном небесном фоне незнакомое солнце; нестерпим ослепительный блеск его лиловато-стальной белизны. Одновременно сияют мириады немерцающих звезд; их необыкновенно яркие, острые лучи колют глаз. Тени в ракете стали резкими, черными, как уголь, и мрачными. Где же наша прекрасная, мягкая небесная лазурь?

Она бесследно исчезла... Оказывается, это атмосфера образует то, что представляется глазу «небом»!..

Но отчего она выглядит снизу лазурной? Ведь воздух бесцветен.

Восстановим в памяти знакомую картину: озеро, по которому бегут волны. Пусть в воде, неподалеку от берега, стоит столб. Наталкиваясь на него, большие волны рассекаются; за столбом их части сходятся и, как ни в чем не бывало, продолжают свой путь к берегу. Мелкие же волны, рябь, не огибают столб, а отскакивают от него; отразившись, они рассеиваются.

Это значит, что для коротких волн столб явился непреодолимым препятствием, длинным же он не оказал никакого (или лишь слабое) сопротивления.

Воздух очень прозрачен. Но высота атмосферы измеряется многими километрами. При подобной толщине слоя даже воздух оказывает световым лучам заметное сопротивление, тем более, что в нем витают пары и пыль. Мириады пылинок и частичек воздуха и воды представляют для света, в зависимости от длины волн, большее или меньшее препятствие. Чем короче волны, тем труднее им преодолевать сопротивление атмосферы, и наоборот. Случай, подобный тому, какой мы видели на примере водяных волн и ряби.

Лучше всего проходят сквозь атмосферу, как наиболее длинноволновые, красные лучи; хуже — оранжевые; еще хуже — желтые и так дальше в порядке цветов спектра. Наименьшей проходимостью обладают самые коротковолновые — синие и фиолетовые

Короткие световые волны, задержанные атмосферой, многократно отражаясь частичками воздуха, воды и пылинками, рассеиваются. Окрашенная смесью рассеянных в ней лучей, главным образом синих и фиолетовых и в какой-то мере голубых и зеленых, атмосфера представляется нам лазурной «небесной оболочкой». Вот почему, вылетев за ее пределы, мы лишились голубого неба.

По той же причине мы видим одновременно с солнцем и звезды: их уже не отделяет от нас светлая атмосфера, в которой теряются днем их слабые лучи. Более того, из ракеты звезды выглядят даже при солнце гораздо ярче, чем ночью с поверхности земли: нет воздушной преграды, задерживающей часть их света. Из-за отсутствия воздуха они и не мерцают.

Мерцание звезд — явление, вызываемое перемешиванием потоков воздуха в атмосфере, которая не бывает совершенно спокойна. Плотность же воздуха не всюду одинакова. Поэтому в разные моменты лучи света по-разному преломляются в атмосфере и разлагаются на цветные.

Условно можно сказать, что от звезды, которая представляется нам точкой, идет в глаз лишь один тонкий луч. Поскольку степень его преломления в атмосфере все время изменяется, то нам и кажется, что звезда как бы дрожит, отливает радужными цветами, и ее яркость колеблется. В действительности звезды излучают ровный, постоянный свет. Но возникает вопрос: почему же не мерцает луна?

Потому, что она не выглядит одной точкой. Преломляющиеся лучи, которые идут от смежных точек ее поверхности, смешиваются. Вследствие этого мерцание отдельных точек луны не может быть замечено.

Во время нашего полета солнце, лишенное пышного наряда атмосферы, предстало перед нами в его естественном блеске. Сквозь толщу атмосферы оно выглядит даже в самый ясный полдень золотисто-желтым: в доходящем до нас его свете нехватает части сине-фиолетовых лучей. Еще заметнее их недостача, когда солнце на горизонте: тогда его лучам приходится преодолевать во много раз более толстый воздушный слой, чем в полдень. Этот мощный слой пропускает главным образом лучи красно-оранжевой части спектра, задерживая в большой степени остальные. Поэтому на заре солнце и выглядит розовым, красным или вовсе багряным. По той же причине оно представляется нам красным сквозь дым и туман.

И снова, попав в межпланетное пространство, мы убеждаемся в справедливости утверждения: «а сам свет невидим». Ведь солнце шлет во все стороны мощные потоки света, наполняет им пространство вокруг себя. Однако пространство это вне атмосферы всегда остается черным...

Преломленным лучом в микромир

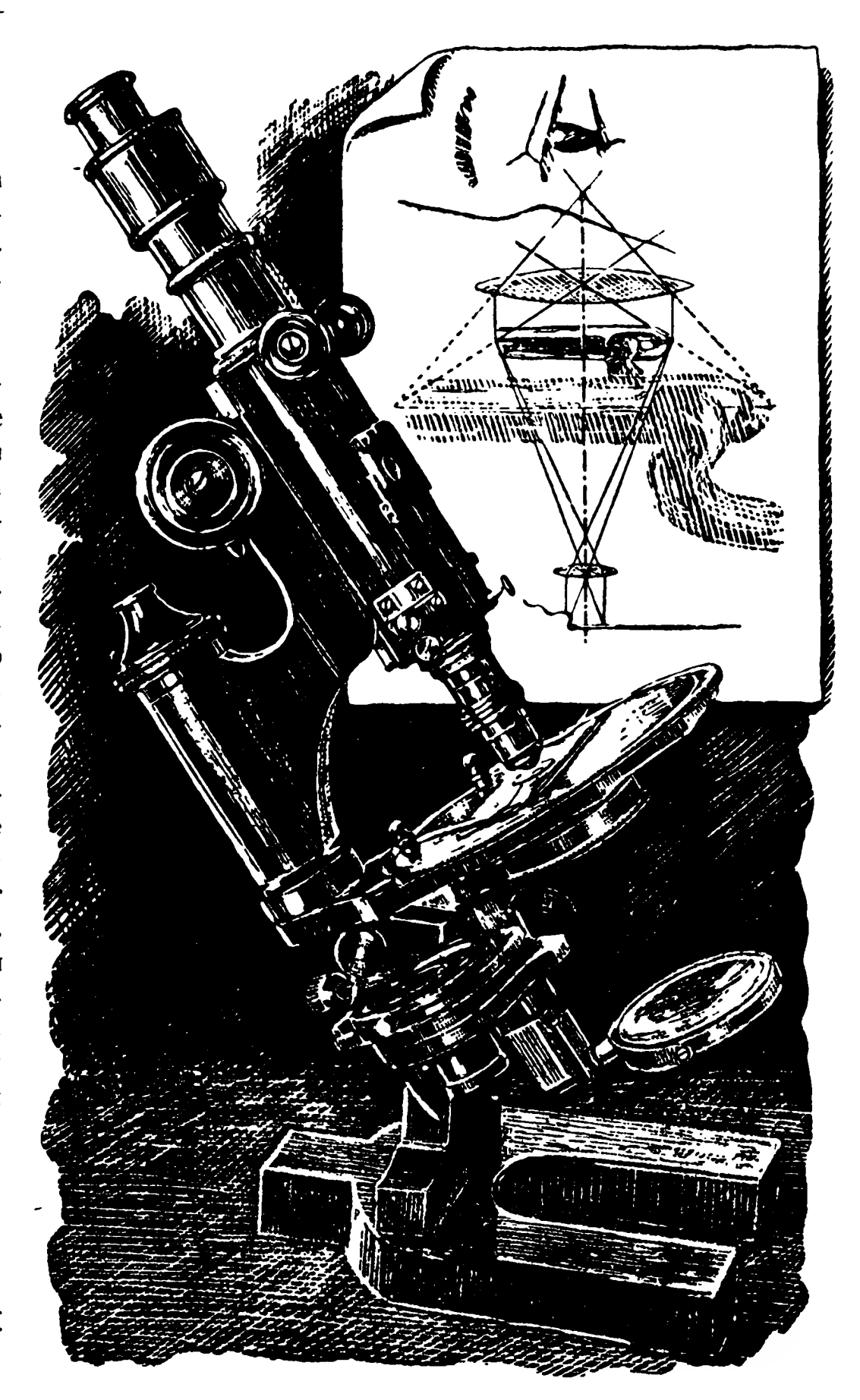
Микроскоп имеет огромнейшее значение как теоретическое, так и практическое. Он открыл человеку микромир, который постоянно окружает его, всюду сопутствует ему и всегда живет в нем самом. Без микроскопа человек не только не мог бы исследовать этот обширный невидимый мир, он не узнал бы даже о его существовании. Таким образом, микроскоп показал, что существует не только непосредственно воспринимаемое глазом.

Живые организмы развиваются из мельчайших, недоступных невооруженному глазу клеточек. Микроскоп дает возможность видеть их и наблюдать их развитие.

Микроскоп со всеми его приспособлениями — сложный прибор. Но идея его проста.

На схеме под объективом микроскопа показано ушко иголки с ниткой. Объективная линза строит перед другой — перед окуляром — действительное увеличенное изображение ушка с ниткой. В окуляр это изображение представляется еще более возросшим.

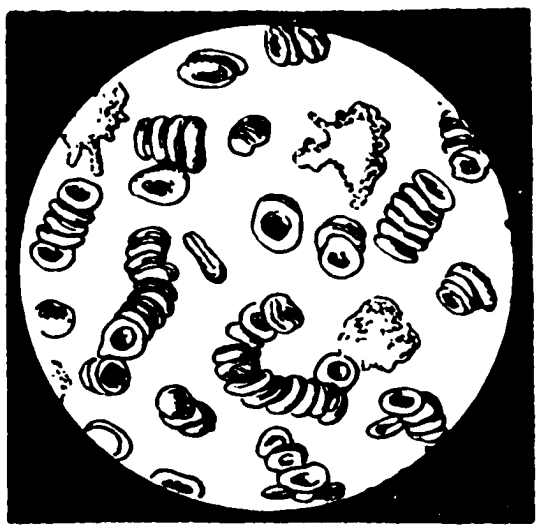
При увеличении всего в десять раз, какое показано на этой схеме, нитка выглядит толстой бечевкой. Микроскоп, который вы видите здесь, может увеличить изображения тел в тысячи раз. Муху он мог бы «превратить» по меньшей мере в слона.



Жизнь на земле возникла в мельчайших и простейших формах, которые, постепенно укрупняясь и усложняясь, развились до высших видов животных и растений. Разлагая перед глазом видимое сложное на мельчайшее более простое, микроскоп помогает человеку проникать в тайны зарождения жизни на нашей планете.

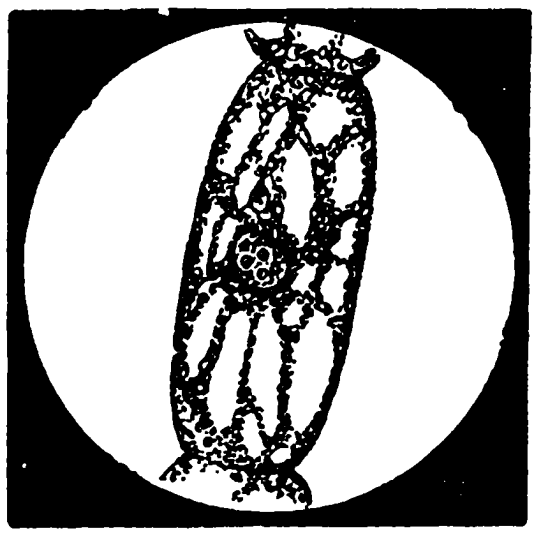
Микроскоп позволяет исследовать строение животных и растительных тканей во всем их богатом многообразии, скрытом от невооруженного глаза. Он позволяет взору углубляться в кровь и в носителей гемоглобина — в красные кровяные шарики. С его помощью стало возможно увидеть и сосчитать эти шарики: их оказалось в капле крови человека до 200 миллионов...

В МИКРОСКОП МОЖНО УВИДЕТЬ:



кровяные тельца; их число в 1 кубическом миллиметре крови человека исчисляется миллионами;

микробов брюшного тифа;



клетки, из которых построены ткани растений;

микроорганизмы в гнилой воде и многое другое.

Все на земной поверхности, включая наши организмы, кишмя-кишит мириадами микробов и бактерий. Среди их многочисленных видов есть полезные и вредные для человека, безобидные и опасные. В течение тысячелетий человек не знал причины заразных болезней и страшных эпидемий сыпного тифа, холеры, чумы и других. Невежественный, суеверный и беспомощный, он приписывал их загадочное появление злым духам, дьявольскому наваждению, карающей «деснице божьей»...

Микроскоп открыл и показал виновников многих заразных болезней и эпидемий. С видимым врагом легче бороться, чем с невидимым. И человек победил уже многие виды болезнетворных микробов. В этой великой битве микроскоп оказался его неоценимым другом и помощником, спасителем многих миллионов человеческих жизней.

Некоторые науки, например микробиология, возникли благодаря микроскопу; своим существованием они обязаны исключительно ему. А многие науки не могли бы достигнуть без него своего высокого развития.

Перечислить все области, в которых микроскоп нашел себе применение, невозможно — их слишком много...

Однако, вследствие несовершенной работы линз, с ростом больших увеличений ухудшается качество изображений. Современный микроскоп может увеличивать не более чем в 4000 раз, а практически — до 2000. Лучше же всего работать при увеличениях, не превышающих 1000 раз. Это не так уж мало. При подобном линейном увеличении площадь возрастает в миллион раз; квадратный миллиметр как бы превращается в квадратный метр.

Но почему предел могуществу микроскопа ставит, как уже говорилось, сам свет?

Мы установили, что большие волны не задерживаются малыми препятствиями: они огибают их и проходят дальше.

Длина световых волн ничтожно мала. Но тела бывают еще меньших размеров — настолько малыми, что даже световые волны о г и б а ю т их. Ясно, что тела подобных размеров вообще невозможно никак увидеть, во всяком случае в лучах обыкновенного света, поскольку лучи эти уже н е о т р а ж а ю т с я телами таких размеров.

Но гений человека сумел выйти далеко за пределы, установленные здесь природой. В самые последние десятилетия изобретен микроскоп, дающий увеличения в десятки тысяч раз, а при помощи вспомогательных приспособлений — до 100 и даже до 200 тысяч раз. Но это — не оптический микроскоп; он называется «электронным». Его действие основано не на лучах света, которыми мы занимаемся...

Навязчивый призрак

Мы видели, какую сокровищницу несметных богатств для науки таит в себе свойство белого света распадаться при преломлении на цветные лучи. Но высокополезное в одном случае может оказаться настолько же вредным в другом. Дожди, жизненно необходимые после посева, губительны во время жатвы и уборки. Они могут сгноить то, что с их же помощью выращено.

Радужный веер, этот источник «спектральных чудес», — крупная неприятность в линзах.

Правда, линзы разлагают сложный свет далеко не в такой мере, как специально предназначенные для этого призмы, но все же в достаточной, чтобы сильно портить изображения. Это явление в линзах называется хроматической («хрома» — по-гречески «цвет») аберрацией (от латинского «отклоняю»).

Благодаря хроматической аберрации, изображения, построенные линзами, получаются радужно окрашенными. Это часто де-

ласт их совершенно непригодными для точной исследовательской работы, особенно в астрономии. Хроматизм дает себя чувствовать главным образом в объективах.

Так «спектральный призрак», дружелюбно раскрывший перед человеком в призмах величайшие тайны мироздания, оказался его лютым врагом в линзах; неразрывно, органически связанный с линзами, он всюду сопутствовал им; как дурное видение, он навязчиво преследовал оптиков, доводя их до отчаяния. Разными способами удавалось несколько уменьшать, смягчать хроматизм, пока, наконец, не было найдено «противоядие» против врожденного порока линз. Но только по прошествии полутора веков после изобретения телескопа!

В чем же заключается это средство?

Оптикам пришла мысль составлять объективы из двух линз — выпуклой и вогнутой. Действие вогнутых линз обратное: такие стекла не собирают, а рассеивают лучи света.

Можно подумать: какой смысл в сочетании противодействующих друг другу линз? Казалось бы, вогнутая, устраняя вредное действие выпуклой, уничтожает вместе с тем и полезное.

На деле это не так. Тут есть секрет: линзы, составляющие пару, делаются из разных сортов стекла, которые в разной мере преломляют и разлагают лучи света. И можно придать им, как показали теория и опыт, такую кривизну, что, сложенные вместе, подобные линзы все же будут преломлять свет, в то же время почти не разлагая его на цветные лучи.

«Почти»? Да, почти. Абсолютно уничтожить хроматическую аберрацию сочетанием линз невозможно.

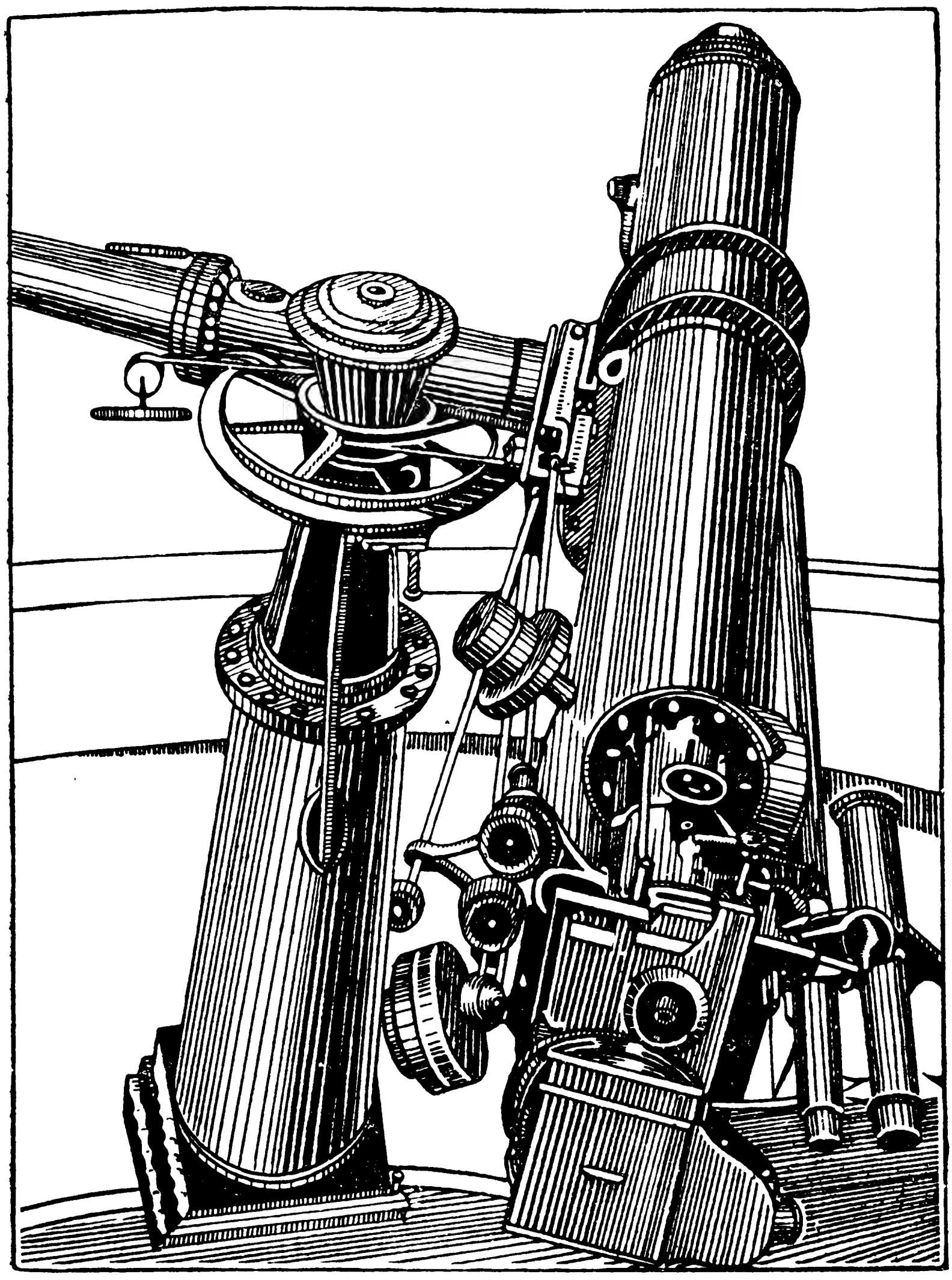
Задолго до изобретения сложного «ахроматического» (нехроматического) объектива ученые-оптики, отчаявшись побороть «чечевичную радугу», пошли по иному пути. Если, рассуждали они, при преломлении света неизбежно его разложение, то не лучше ли вовсе отказаться от чечевиц в объективах?..

Но... легко сказать — отказаться от линз! А чем заменить их? Нашлось чем: применили нечто такое, что совершенно не разлагает лучей света и... не преломляет их. Как же тогда телескоп может действовать?

Оказывается, «доставать звезды с неба» может не только преломленный, но и отраженный луч.

Вот на стойке укреплено вогнутое зеркало. Пусть оно отражает лучи, идущие от какой-то отдаленной светящейся точки. При известной форме зеркала лучи эти пересекутся в одной точке. Перед зеркалом образуется световой конус.

Мы уже знакомы со сходным явлением: такой же конус создают позади чечевицы преломленные ею лучи. Любопытное сходство: вогнутое зеркало действует подобно выпуклой чечевице — собирает лучи света в точки.



Крупные современные телескопы представляют собой тяжелые, сложные сооружения. Однако они должны легко и плавно поворачиваться, чтобы астрономы могли наводить их на нужные точки неба. Несмотря на свои размеры и вес, телескопы работают замечательно точно.

С помощью особого механизма, приводимого в действие электромоторами, телескоп может автоматически неуклонно следовать за передвигающимся по небу светилом. Оно представляется наблюдателю совершенно неподвижным.

Следовательно, если заменить светящуюся точку каким-либо предметом, то вогнутое зеркало, как линза, построит, точка за точкой, опрокинутое уменьшенное изображение этого предмета.

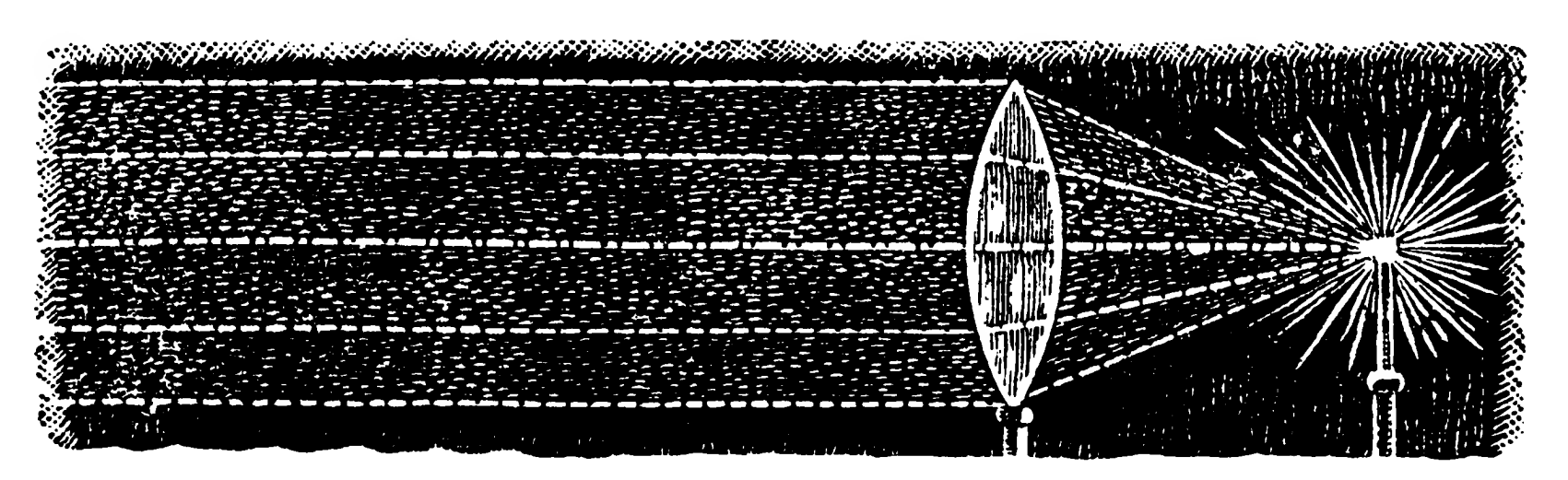
Теперь до телескопа иного типа остается только один шаг. Ведь получившееся изображение можно рассмотреть в окуляр. А построено ли оно линзой или зеркалом — безразлично. Впрочем, не совсем безразлично: зеркала не разлагают лучей света. В этом их главное преимущество перед линзами.

Телескоп со стеклянным объективом называется рефрактором (от латинского слова «преломлять»), а зеркальный телескоп — рефлектором, что значит по-латыни «отражатель».

С помощью рефлекторов были сделаны величайшие открытия в астрономии. Крупнейший в настоящее время телескоп в мире — именно рефлектор. Диаметр его зеркала превосходит

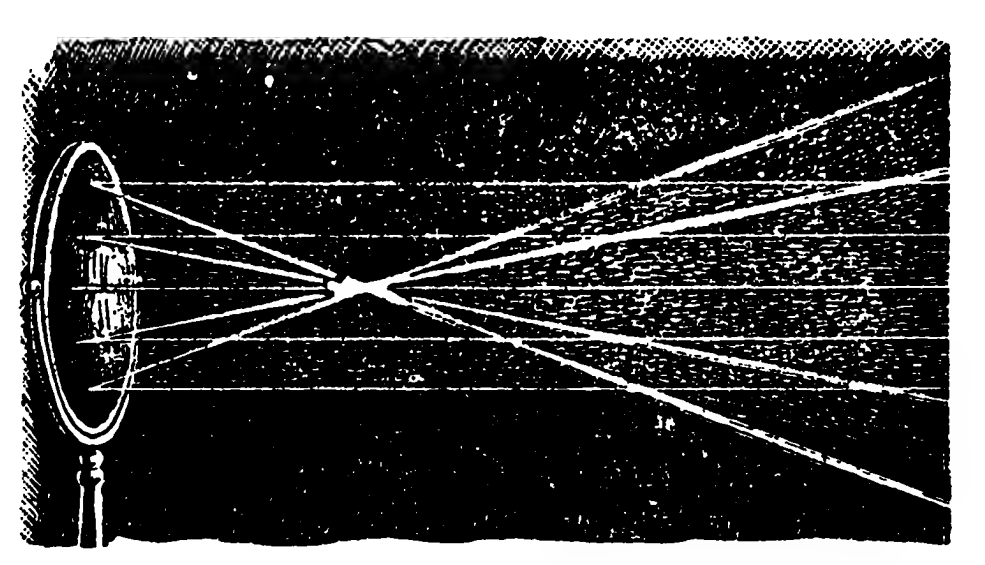
Лучи света от планеты Сатурн падают на объектив телескопа. Чтобы по возможности устранить разложение белых лучей на цветные, объективы составляются из двух линз разных сортов стекла: двояковыпуклой и плосковогнутой.

Преломленные объективом лучи света строят перед окуляром изображение планеты. Наблюдатель видит его в окуляр, как в лупу, сильно увеличенным. Обратите внимание, под каким углом изображение представляется глазу. Этот угол во много раз больше того (см. налево угол, образованный лучами, падающими на середину объектива), под которым планета видна невооруженному глазу.



При известном расстоянии светящейся точки от линзы преломленные линзой лучи становятся параллельными. И наоборот: если направить на эту линзу пучок параллельных лучей, то они пересекутся точно там, где находилась светящаяся точка.

5 метров. Это зеркало собирает примерно в миллион двести тысяч раз больше света, чем глаз человека. Диаметр же наибольшего из построенных до сих пор ахроматических объективов равен всего 102 сантиметрам.



Интересное сходство: вогнутое зеркало, отражая свет, собирает, подобно выпуклой линзе, лучи в точки. Здесь показана такая точка, образованная падающими на зеркало параллельными лучами. Следовательно, и вогнутое зеркало может, как линза, «доставать звезды» с неба. Эта способность делает его соперником линз: наряду с телескопами-рефракторами существуют и телескопы-рефлекторы, в которых вместо объективов из линз — вогнутые зеркала.

Не следует, однако, думать, что у зеркал нет недостатков и что их легко делать. Производство точных, совершенных рефлекторов также очень трудно. Но, во всяком случае, как свидетельствует история, зеркальные телескопы одержали пока верх над рефракторами.

Первый рефрактор был построен Галилеем в 1609 году.

Первый рефлектор был сделан Ньютоном в 1660 году.

Только эти два вида телескопов и существовали в течение трех веков. И только в самое последнее время — в 1941 году — появился телескоп нового типа.

Чем мы гордимся

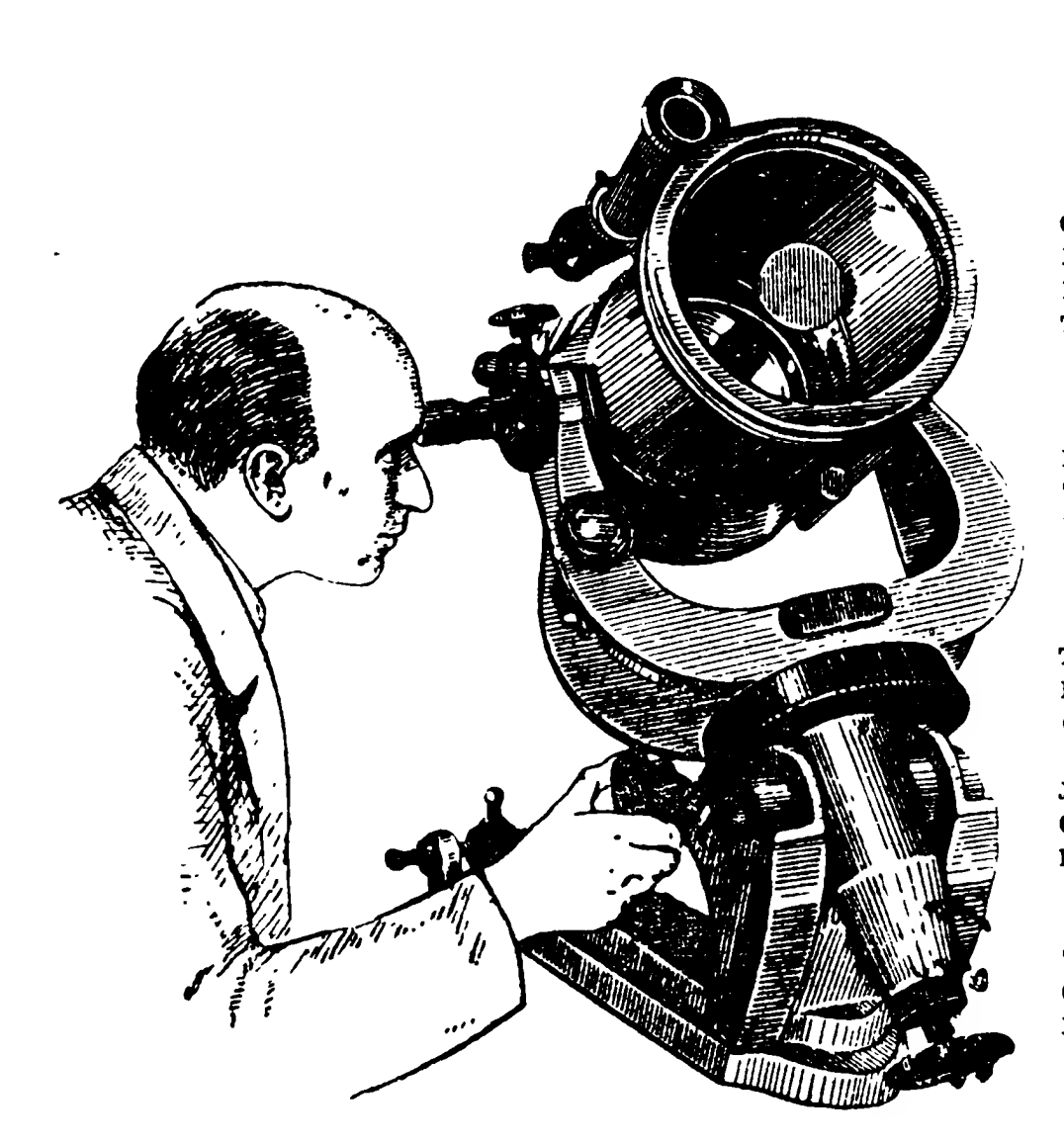
Наша великая Родина гордится каждым открытием, каждым изобретением, сделанным ее сынами и умножающим ее славу.

Телескоп нового типа изобретен нашим, русским, советским ученым — ленинградским профессором Д. Д. Максутовым.

В новом телескопе рефлектор сочетается с рефрактором. Однако они не просто механически соединены в одну систему. Да это и невозможно было бы сделать.

Телескоп советского оптика, основанный и на преломлении и на отражении света, представляет собой нечто совершенно новое, с новыми особенностями. Он замечателен своей необыкновенно остроумной, если не сказать больше, и вместе с тем удивительно простой идеей.

В течение столетий все усилия оптиков были направлены к тому, чтобы улучшать и увеличивать системы зеркал и линз. Теория и практика производства телескопов выросли в большую, сложную науку и особое искусство, о котором можно писать



Этот телескоп, при равных силе и качестве изображений, гораздо меньше и удобнее телескопа-рефлектора, а тем более — рефрактора.

Изобретатель этого телескопа, профессор Д. Д. Максутов, замечательно остроумным способом преодолел трудности, на борьбу с которыми в телескопах были направлены в течение столетий все усилия оптиков. Этот способ позволил изобретателю создать компактный инструмент большой силы и отличного качества.

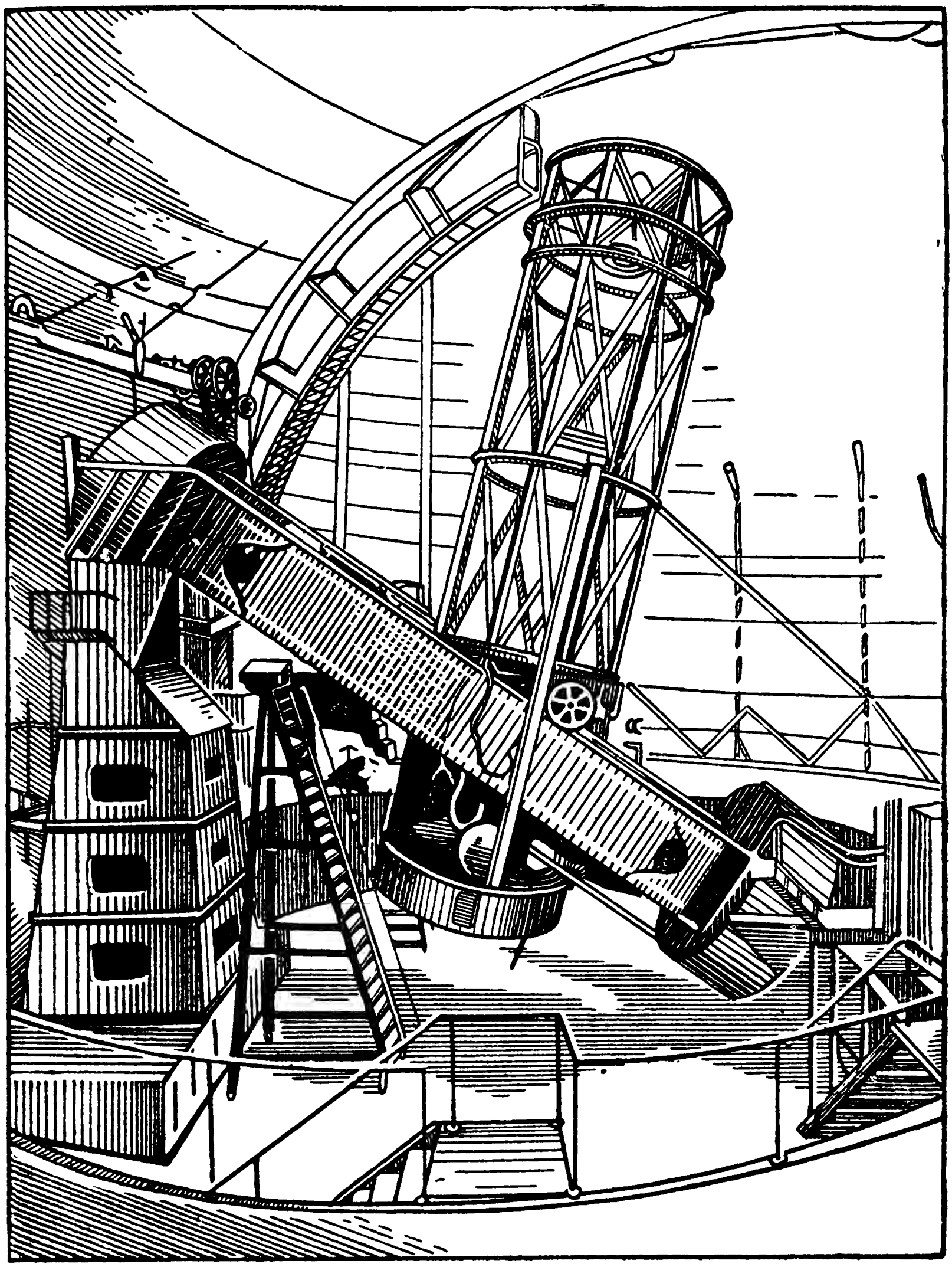
У изображенного здесь телескопа окуляр расположен сбоку. При несколько иной конструкции инструмента он помещается, как в рефракторе, в конце трубы; на чертеже (см. след. стр.) представлена схема только этого вида телескопа.

многотомные труды. Но на протяжении трех веков никто из оптиков в мире не догадался сделать то, к чему пришел Дмитрий Дмитриевич Максутов.

Да и не просто, совсем не просто было додуматься до этого. Пути изобретателей многообразны и подчас причудливы; к своей «простой вещи» профессор Д. Максутов пришел своеобразным творческим путем. Но обратимся к самому телескопу.

Изобретатель назвал его «менисковым».

Мениск — это вогнутая или выпуклая верхняя поверхность, которую принимают жидкости в очень тонких трубках. В новом телескопе участвует выпукло-вогнутая линза, похожая на стеклышко карманных часов. Ей изобретатель и дал имя «мениск».



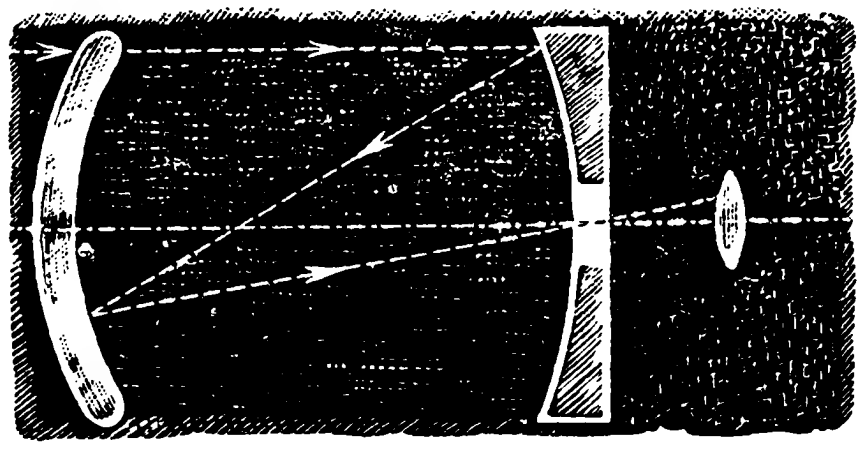
Вот другое «тяжелое орудие» астрономов — зеркальный телескоп, рефлектор. Это тоже очень сложное, огромное сооружение, хотя и не такое большое, как рефрактор равной силы.

Тут астрономы наблюдают вселенную уже не в трубу: они видят ее в зеркале. Однако в наше время уже почти не смотрят ни в те, ни в другие телескопы: теперь астрономы главным образом фотографируют небесные светила и их спектры. Таким образом, современные телескопы — это гигантские фотоаппараты, с помощью которых человек заставляет лучи света писать на фотопластинках повести о далеких мирах.

Вот устройство одного из видов менискового телескопа. На переднем конце трубы находится мениск, на другом — вогнутое зеркало. Середина зеркала прозрачна; перед ней укреплен окуляр. Центральная же часть прозрачного мениска, наоборот, посеребрена и представляет собой, таким образом, вогнутое зеркальце. Кривизна поверхностей мениска неодинакова: выпуклость больше вогнутости. Такой мениск, понятно, действует, как выпуклая линза.

Посмотрим, что происходит в подобном телескопе, когда он наведен на какое-либо отдаленное тело.

Лучи света, идущие от тела, проникают в трубу через мениск. Преломившись в нем, они падают на главное зеркало и отражаются им. Отраженные лучи направляются назад — на посеребренный участок мениска. И перед этим зеркальцем возникает изображение отдаленного тела. Оно видимо сквозь центральный просвет главного зеркала.



Лучи света от небесных тел проникают в телескоп Д. Максутова через мениск — выпукло-вогнутое стекло; на схеме, налево сверху, показан один такой луч.

Пройдя стекло, этот луч падает на вогнутое зеркало; отраженный им, он возвращается к мениску, центральная часть которого посеребрена. Это маленькое зеркало отбрасывает луч снова на большое — на его прозрачную, свободную от зеркального слоя середину.

Лучи, выходящие таким образом по ту сторону зеркала, строят изображение тела на которое направлен телескоп. Это изображение наблюдатель рассматривает в окуляр-линзу, показанную на схеме справа.

В чем секрет менисковых телескопов, объясняющий их достоинства, читатель узнает из текста.

Наблюдатель рассматривает это изображение в окуляр.

Бывает, что на вид какой-либо аппарат сложен, но сделать его нетрудно. И наоборот: простой, казалось бы, инструмент требует технически такого высокого мастерства, что сооружение его при должном качестве почти невозможно.

По этой причине, например, до сих пор не создан ахроматический объектив диаметром более 102 сантиметров; исключительно трудно изготовить для линз достаточно большие массы стекла, совершенно однородные во всех их частях и абсолютно без хотя бы ничтожно малых пузырьков воздуха.

Какая, казалось бы, простая штука — линза! Ведь современная техника справляется с очень сложными задачами. А получилось так, что с конца прошлого века, когда был создан 102-сантиметровый ахроматический объектив, производство крупных линз не сделало ни шага вперед.

Плюсы и минусы

Менисковый телескоп прост именно в производстве. Его сравнительно нетрудно изготовить при таком высоком качестве, какое едва достижимо в телескопах старых типов.

Для ясности сопоставим с новым телескопом рефрактор и рефлектор, рассматривая в отдельности их главные достоинства и недостатки. А почему у менискового телескопа не окажется недостатков его «предков», речь будет особо.

Основной порок рефракторов, как мы знаем,—хроматическая аберрация. У рефлектора ее нет. Но в зеркалах приходится считаться с другим видом аберрации — со сферической. Это слово уже знакомо нам: оно означает «шаровой».

Сферические вогнутые зеркала не собирают лучей света, как показывают теория и опыт, строго в точки. Вследствие этого, понятно, такие зеркала дают не совсем ясные, нерезкие изображения, что делает их совершенно непригодными для телескопов.

Возможна ли борьба с этим «недугом» вогнутых зеркал — со сферической аберрацией?

Возможна. Практически ее можно почти совершенно устранить. Но для этого вогнутое зеркало должно быть не шаровым, а иной, более сложной формы, которая называется параболической. А придать ему такую форму несравненно труднее, чем шаровую. Шаровая кривизна — это простейшая и математически и технически.

У больших рефлекторов зеркала очень слабо вогнуты. Представьте себе подобное металлическое шаровое зеркало диаметром в 1 метр. Чтобы превратить его в параболическое, надо от краев его к центру снимать слои различной толщины, которая может измеряться долями микрона! А технический допуск, то есть дозволяемая неточность, не должна превышать сотых долей микрона!

Отсюда видно, как необычайно трудно изготовлять для телескопов оптические части даже с простыми шаровыми поверхностями, а тем более — с иными, более сложными.

Для линз качество стекла имеет важнейшее значение, а для зеркал — второстепенное. Поэтому «болванку» легче изготовить даже для 5-метрового зеркала, чем для 1,5-метровой линзы. В этом второе огромное преимущество зеркал над линзами.

Зато линзы достаточно делать сферическими, а зеркалам приходится придавать параболическую форму.

Но у рефлекторов только одна эта точная поверхность, а у рефрактора — четыре: у каждой из двух линз ахроматического объектива по две стороны.

Однако линзы не требуют такой высокой точности при обработке поверхности, как зеркала.

Но линзы страдают хроматизмом, а зеркала совершенно свободны от него.

Зато рефрактор плотно закрыт с обеих сторон — объективом и окуляром. А рефлектор — открытый прибор. Зеркало подвергается вредному действию воздуха и пыли, вследствие чего приходится часто обновлять его отражающий слой.

Но рефлекторы короче рефракторов. Поэтому они подвижнее и нуждаются в установках меньших размеров, что удобнее, проще и дешевле.

Надо сказать, что и линзы страдают сферической аберрацией, однако тут она не представляет собой такого зла, как у зеркал: сочетанием стекол возможно бороться не только с хроматической, но и со сферической аберрацией.

А как обстоит дело в этом отношении с новым телескопом?

Ни той, ни другой!

В новом телескопе всего одна, и притом значительно выгнутая линза с двумя сферическими поверхностями — мениск — и сферическое зеркало. Следовательно, аберрация должна быть тут двойная — и от линзы и от зеркала.

Но в менисковом телескопе нет сферической аберрации.

Поскольку мениск — одинарная, а не двойная линза, как в ахроматическом объективе, то должна быть хроматическая аберрация.

Однако и хроматической аберрации нет в менисковом телескопе.

Практически — ни той, ни другой!

Мениск тоньше линз ахроматического объектива. И требования к качествам его стекла не так строги. Поэтому для большого мениска гораздо легче изготовить стеклянную массу, чем для обычных линз.

Придать нужную форму оптическим поверхностям в менисковом телескопе сравнительно нетрудно. Ведь все три поверхности — обе мениска и одна главного зеркала — простые сферические.

Менисковый телескоп закрыт с обеих сторон — мениском и зеркалом. Он так же защищен от атмосферных влияний, как рефрактор.

Телескопы помещаются в особых башнях на вращающихся установках. Чем больше и длиннее телескоп, тем больше должна быть башня и тем дороже ее постройка. Рефлекторы короче рефракторов, а менисковые телескопы короче рефлекторов. Башня для крупного рефлектора в несколько раз

дороже, чем для менискового телескопа равной силы. А для рефрактора такой же силы — в десятки раз дороже!

Итак, менисковый телескоп удивительным образом совмещает в себе важнейшие достоинства и рефракторов и рефлекторов, почти не имея их недостатков. А в ряде отношений он обладает преимуществами и перед тем и другим.

Конечно, уже давно ясно, что в менисковом телескопе, вернее, в идее этого телескопа, есть особый секрет, который, как самое интересное, нам откроют в конце экскурсии в страну зеркал и стекол.

Оказывается, таких секретов даже два. Они-то и сделали менисковый телескоп и его изобретателя знаменитыми и принесли им мировую славу.

Глубоким и детальным исследованием менисков профессор Д. Максутов установил: при известных выпуклости, вогнутости и толщине мениск может быть практически совершенно ахроматичным.

Но — увы! — остается сферическая аберрация. А это, конечно, плохо. Очень плохо. Мало того, как гласит старинная народная русская пословица, «нос вытащит — хвост увязит; хвост вытащит — нос увязит»: благодаря форме мениска сферическая аберрация даже довольно велика. Тем хуже, не правда ли? Недаром же крупнейшие оптики мира всегда старались смягчать, сглаживать ее. А тут еще она проступает особо явственно.

Но это еще не все — за одной неприятностью следует другая. Ведь зеркало-то — шаровое. И к сферической аберрации мениска прибавляется такая же аберрация зеркала. Казалось бы, совсем из рук вон плохо.

Однако менисковые телескопы дают прекрасные изображения: очень резкие, ясные, сильные, четкие. Как же изобретатель поборол пороки мениска и зеркала?

Он вовсе не поборол их... И даже не пытался бороться с ними, как это делалось до него.

Кому не известна сила идеи? Невидимая, неслышимая, неощутимая, а нередко и совершенно простая, идея может привести в движение горы.

Дмитрию Дмитриевичу Максутову пришла удивительная идея: он заставил мениск и зеркало самих бороться друг с другом.

Вот в чем главный секрет менискового телескопа.

Сферическая аберрация зеркала не прибавляется, а вычитается из такой же аберрации мениска. Одна противоположна другой; их действия направлены в разные стороны.

Изобретатель старался не уменьшать ту или иную из них, а сделать их равными по величине. И тогда, как ветры, равные по силе, но дующие в противоположные стороны, недостатки мениска и зеркала взаимно погасились.

Поэтому для мениска гораздо легче подобрать и сорт и качество стекла, чем для ахроматического объектива: цветовая аберрация устраняется соответствующей формой мениска, а сферическая — гасится соответствующей формы зеркалом.

Такими необычайными способами советский изобретатель изгнал из телескопа оба «навязчивых призрака».

Самая длинная астрономическая труба была сооружена почти три века назад голландским физиком Гюйгенсом. Ее длина равнялась 68 метрам! Для точных работ нашего времени подобные чудовищные, громоздкие инструменты были бы совершенно непригодны.

Самый длинный современный ахроматический рефрактор — 21-метровый — построен полвека назад немецкими оптиками. Будучи более чем втрое короче трубы Гюйгенса, он гораздо лучше и мощнее ее.

Самые короткие астрономические трубы в мире сконструировал и продолжает конструировать советский оптик. При равных размерах диаметров менисковые телескопы намного короче и легче, мощнее и лучше, проще, удобнее и дешевле не только рефракторов, но и любых рефлекторов. Ни те, ни другие не в силах состязаться с ними.

Менисковый телескоп переживает еще раннее детство. Однако его успехи уже огромны. Изобретатель создал ряд видов менискового телескопа; он совершенствует их и распространяет свою идею на другие приборы и инструменты, имеющие непосредственно практически важное значение.

Профессор Д. Д. Максутов избран членом-корреспондентом Академии наук СССР и удостоен высокой награды — Сталинской премии.

НА ШТУРМ ТВЕРДЫНИ

„Несветящий свет“

СТРАНСТВУЯ по разным областям и краям, мы все более убеждаемся, что «самое обычное и привычное»—свет—одно из замечательнейших явлений в мире. Мы видели, как необозримо велика его роль в жизни природы. Орудия и инструменты, с помощью которых свет повествует о безднах макрокосма и микромира, показали, насколько огромно значение света для науки, техники и, следовательно, культуры. И, наконец, мы узнали, что он не просто «светит», то есть дает возможность видеть; свет, как мы убедились, делает доступным глазу, — а если не глазу, то уму человека, — и невидимое.

Но и этого мало; сейчас мы попадаем в область, в которой невидимое превращается в видимое под действием несветящего света. Дважды парадоксально: «несветящий свет», да еще что-то освещающий!

В пояснение нам заявляют: если какие-то лучи не светят вам, то это еще не значит, что они не обладают свойствами световых, и не лишает их права на звание световых. То, что вы до сих пор называли спектром, в действительности лишь его видимая, то есть доступная человеческому глазу, часть. Вспомните свой воображаемый аппарат, который вы мысленно настраивали на ту или иную волну.

Справедливое указание! В самом деле, ведь вначале аппарат излучал недоступные зрению короткие волны — короче 0,4 микрона, а затем длинные — длиннее 0,7 микрона. Когда же этот аппарат заменила призма, мы молчаливо принимали: спектр начинается с красного цвета и кончается фиолетовым.

Оказывается, что в действительности спектр распространяется в обе стороны дальше. В составе солнечного света есть и невидимые лучи, которые призма также разбирает по «сортам» и укладывает в порядке длины волн на экран. К ним слепы наши глаза, но их «видят» созданные руками и умом человека приборы. Вот для кого эти лучи не темны, вот кто открыл нам, что «невидимый свет» во многих отношениях замечательнее видимого.

Темные лучи за красной частью спектра с длиной волны примерно от 0,75 до немногих сотен микронов называются инфракрасными. Они легко проходят сквозь мутную среду, например, мглу, дым, туман, которые прозрачны для них.

Однако для некоторых инфракрасных лучей малопрозрачно обыкновенное стекло. Поэтому в спектре, образованном стеклянной призмой, их нет. Чтобы получить их, применяют призмы из каменной соли или хлористого калия. Эти вещества одинаково хорошо пропускают и свет и тепло, в то время как обыкновенное стекло — плохой проводник тепла.

Тепло можно обнаружить на всех участках спектра, причем термометр показывает, что от фиолетового к красному концу лучи становятся все теплее. Температура продолжает повышаться и за пределами красной — в темной части спектра. Выше всего она от красной части на расстоянии, равном двойной длине видимого спектра. Поэтому инфракрасные лучи называются также «тепловыми».

Справедливость этого названия может подтвердить простой опыт. Нагреем на огне кусок металла. Доведя его почти до красного каления, при котором он начал бы давать свет, уберем огонь. Горячий металл будет распространять вокруг себя невидимые тепловые лучи. Их волны несколько длиннее волн красных лучей, то есть лучи эти — инфракрасные.

Темное пространство за фиолетовым участком спектра занимают невидимые лучи другого типа — ультрафиолетовые («ультра» — по-латыни «сверх», «более»). Длина их волн заключена в пределах от 0,4 до сотых долей микрона. Стекло для этих лучей еще более непрозрачно, чем для инфракрасных, но их свободно пропускает минерал кварц. Поэтому для получения солнечного спектра с ультрафиолетовыми лучами пользуются призмами из кварца.

Разностороннее влияние солнечного света на организмы людей и животных следует отнести в большой степени за счет ультрафиолетовых лучей. Эти лучи обладают и полезными и вредными свойствами; они целебны, но могут быть и опасными. Это они вызывают на коже загар, вместе с тем они же причиняют и ожоги. Благодаря главным образом ультрафиолетовым лучам солнечный свет действует обеззараживающе — убивает микробов.

Атмосфера в большой мере задерживает и рассеивает эти коротковолновые лучи, но существует сильный искусственный источник для их получения — ртутная лампа. В таких лампах, сделанных из кварцевого стекла, электрический ток превращает ртуть в раскаленные пары. Их сравнительно слабый свет богат несветящими ультрафиолетовыми лучами. Невидимые, темные, эти лучи тем не менее очень вредны для зрения. Если подолгу смотреть на свет ртутной лампы, можно ослепнуть.

По химическому действию ультрафиолетовые лучи гораздо энергичнее других в солнечном спектре: они сильно обесцвечивают краски, разлагают различные вещества и действуют вследствие этого на фотопластинку. Поэтому их называют еще «химическими лучами».

Где свет перестает быть светом

Спектры, доступные зрению и фотопластинке, не совпадают. Если расположить цвета от красного до фиолетового слева направо, то «фотографический спектр» окажется по сравнению со «зрительным» смещенным вправо. Нетрудно убедиться в этом.

Мы прекрасно видим красный цвет. А обыкновенная фотопластинка совершенно «слепа» к нему. Поэтому фотографические работы, требующие отсутствия света, и производятся при красной лампе: фотографам она светит, а для фотопластинок ее свет равносилен полной тьме.

Мало того, обычные пластинки нечувствительны к оранжевым и даже к желтым лучам и плохо «видят» зеленые. Глаз же к желто-зеленым лучам как раз наиболее чувствителен. Зато он намного хуже ощущает сине-фиолетовые и совершенно слеп к ультрафиолетовым. А фотопластинка, наоборот, именно их чувствует лучше всего. Прекрасно выходят снимки, сделанные в фиолетовых лучах и в полнейшей для нас «ультрафиолетовой» тьме.

Существует, однако, не один, а различные фотосоставы. Имеются чувствительные и к желтому, и к оранжевому, и к красному свету. Более того, — даже к недоступным зрению инфракрасным лучам. Излишне говорить, как велико значение фотосъемки на больших расстояниях, при плохой видимости или вовсе сквозь мглу и туман.

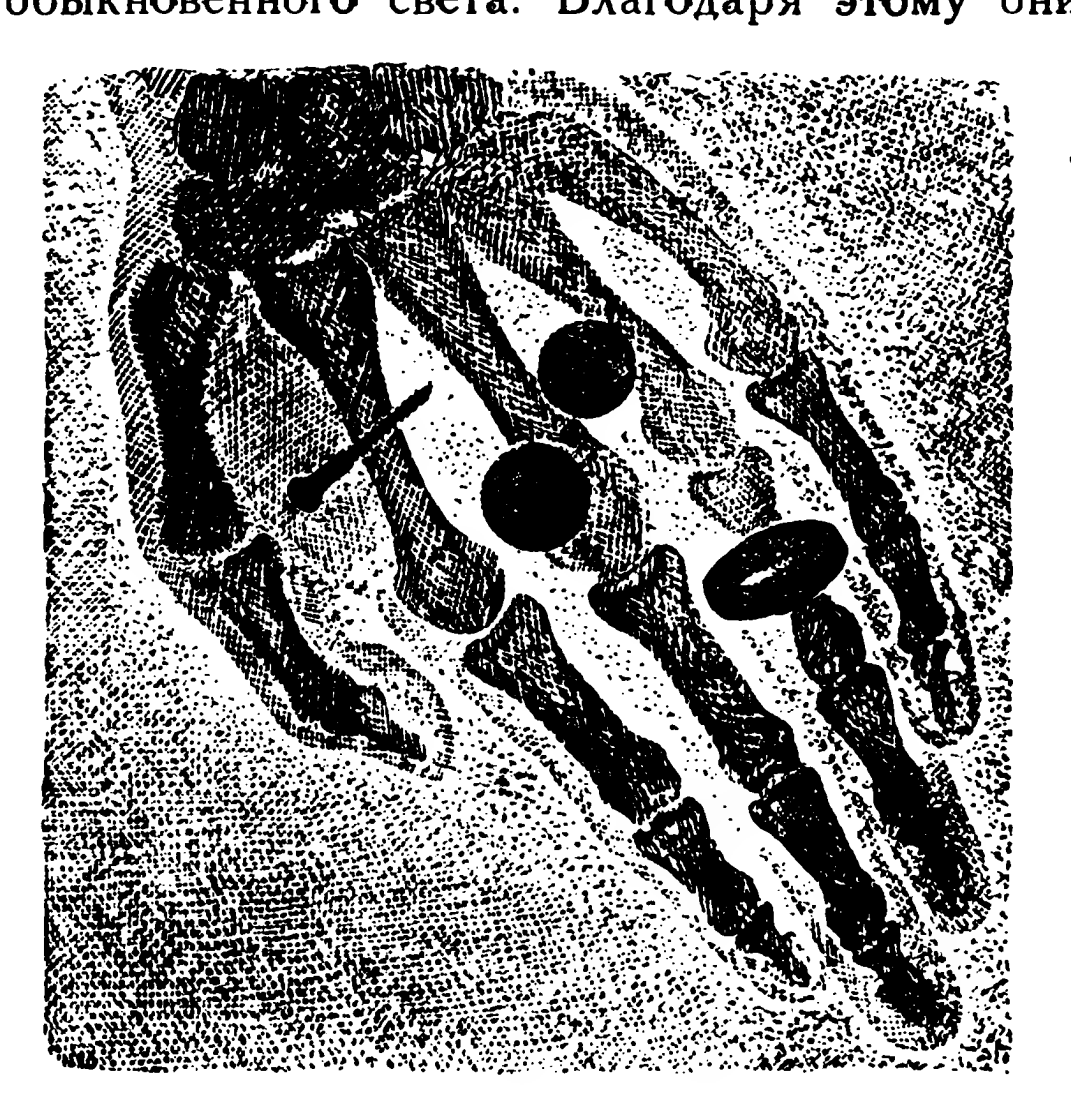
В восприятии света у человеческого глаза есть очень существенное превосходство над фотографией: фотопластинка «страдает дальтонизмом». Дальтонизм — это недостаток зрения у некоторых людей, «цветовая слепота». Заключается она в неспособности различать цвета, главным образом красные и зеленые. Красные розы и зеленые листья на кусте представляются дальтонику однотонными.

Обыкновенная фотография также «не видит» цветов. Все на ней выходит однообразно серым, в то время как нормальный глаз человека различает в солнечном спектре до 160 цветовых оттенков!

Но творческая мысль не знает покоя. Устранение «фотодальтонизма» было в течение ряда десятилетий мечтой многих изобретателей. В начале нашего века и эта вершина взята. Сейчас всякий знаком с фотографией красок по цветным кинофильмам.

Невидимый спектр не обрывается на ультрафиолетовых лучах. За ними следуют рентгеновы, волны которых приходится мерить уже не микроном, а его тысячной долей — миллимикроном. Длина волн рентгеновой серии заключается в пределах примерно от двух миллимикронов до нескольких тысячных долей миллимикрона. Эти лучи возникают при электрических разрядах в стеклянных сосудах с сильно разреженным воздухом.

Вещество небольшой плотности, например дерево и разные ткани, так же прозрачно для лучей Рентгена, как стекло для обыкновенного света. Благодаря этому они оказывают неоценимые услуги при различных исследовательских работах, производственных и в медицине.



Как поражен был Рентген, когда, производя свои опыты, он неожиданно увидел на экране кости... собственной руки!

В лучах Рентгена заметны, в виде теней различной густоты, одновременно и мышцы, и кости, и металлические предметы на пальцах. Движущийся человек выглядит в этих лучах «живым скелетом»...

Но как ими пользоваться, если они невидимы, то есть не светят глазу и ничего не освещают?

Да, сами они не светят, но зато заставляют светиться некоторые вещества, на поверхность которых они падают. Вследствие этого экран, покрытый таким веществом, становится видимым. И тогда происходит нечто, граничащее с чудом.

В самом деле, вообразите, что вы стали между источником рентгеновых лучей и экраном. Что получится?

Лучи свободно пройдут сквозь вашу одежду и лягут на экран. Соответствующие его места засветятся, словно одежды на вас нет. Довольно свободно пронижут рентгеновы лучи ткани и органы вашего тела. Места экрана, на которые упадут эти несколько ослабленные лучи, окажутся менее освещенными. Посторонний наблюдатель увидит слабые тени, образованные вашими внутренними органами; он увидит, как бьется ваше сердце!

Костяк, мало прозрачный даже для этих коротковолновых лучей, даст уже довольно плотную тень. На экране появится

темносерое изображение вашего скелета. А полностью непрозрачные тела, например, монеты и часы, отбросят совершенно плотные, густые тени. И окружающие увидят на экране глубоко спрятанные в ваших карманах металлические предметы.

Так с помощью фотографической, электрической и другой аппаратуры человек сумел далеко раздвинуть границы важнейшего из своих чувств для познания мира; и тут невидимое стало видимым.

Три „русских света“

Лучи Рентгена — не самые коротковолновые. За ними следуют невидимые «гамма-лучи», непрерывно испускаемые некоторыми металлами, например радием, за что он и назван так. Волны этих лучей в десятки и сотни раз короче рентгеновых; их длина колеблется в границах примерно от тысячных до одной десятитысячной доли миллимикрона.

Но и гамма-лучи не кладут предела коротким электромагнитным волнам. Из космических пространств непрерывными потоками низвергаются на землю неизвестного происхождения «космические лучи». По своей способности проходить сквозь толщу различных тел и веществ эти лучи оставляют далеко позади рентгеновы. Их волны, длина которых заключена в пределах от стотысячных до десятимиллионных долей миллимикрона, раз в сто-двести короче даже гамма-волн...

Свечение экранов возможно под действием не только лучей Рентгена. Тут мы встречаемся с новой областью — огромным самостоятельным разделом учения о свете. Эта область известна под общим названием «люминесценции», означающим по-русски «свечение».

Есть вещества, которые светятся под влиянием ультрафиолетовых лучей. «Темный свет» эти вещества превращают в «светлый»; они как бы переводят недоступные зрению лучи в доступные и притом в цветные. Например, соединения металлов магния и вольфрама ультрафиолетовые лучи заставляют светиться голубовато-зеленым светом; цинка и бериллия с небольшой примесью магния — яркооранжевым; кадмия с бором — розовато-красным.

Но существуют вещества, переводящие «светлый свет» в светлый же — лучи одних цветов в лучи других. Есть, например, краска, которая под влиянием синих и зеленых лучей светится красным светом; другая краска, освещенная синими или фиолетовыми лучами, вспыхивает яркозеленым.

Свечение веществ под действием лучей называется фотолюминесценцией, а вещества эти — люминофорами.

Процессы фотолюминесценции очень сложны. Детальное исследование их произвел академик, ныне президент Академии наук СССР Сергей Иванович Вавилов. Вместе со своими сотрудниками он открыл основные законы превращения одних лучей в другие. Ценность работ академика С. Вавилова, имеющих общемировое научное значение, огромна: люминофоры стали источниками нового вида искусственного света.

Но сначала — несколько слов о «старом свете», который еще сравнительно недавно также был новым. Мы хотим напомнить, что наша Родина — родина наиболее совершенного вида искусственного света — электрического, победившего и вытеснившего все остальные.

В 1802 году, когда о таком свете никто не мечтал, петербургский ученый, отец русской электротехники, Василий Владимирович Петров получил впервые в истории электрическую дугу — ослепительно яркий свет, возникающий между концами двух раскаленных электрическим током угольных стержней. Эффект, полученный Петровым, явился одновременно и открытием и изобретением, имеющим крупное научное и крупнейшее техническое значение. Электрическая дуга и до сих пор остается одним из сильнейших источников электрического света; всякий знаком с ней хотя бы по картинам, образованным ее светом на экранах кино.

Годы спустя после открытия Петрова электрическая дуга была получена в Англии химиком Дэви; позднее, в честь итальянского физика Вольты, ей присвоили имя «вольтовой», несмотря на то, что открытие русского академика было опубликовано в мировой научной литературе. Досадно, что наше отечественное открытие, сделанное нашим человеком, на нашей земле, слывет как иностранное.

Дуговая лампа — другой источник электрического света — также русского происхождения. Изобрел ее уроженец Саратовской губернии Павел Николаевич Яблочков. Первый патент на это изобретение он получил в 1876 году в Париже. Новый осветительный прибор вошел во все учебники физики под названием «свечи Яблочкова». Заливая улицы крупнейших городов Европы еще никогда не виданным, сказочно ярким для тех времен электрическим светом, лампа Яблочкова вызывала у сотен тысяч людей необыкновенное восхищение. Все только и говорили, что о «чудесном русском свете», о свете, пришедшем с севера, из далекой России.

В те же годы у свечи Яблочкова появился достойный соперник — электрическая лампа накаливания. «Третий электрический свет», важнейший, удобнейший и единственный электроосветительный прибор, завоевавший жилище человека во всем мире, также родился в России. Этот прибор — детище творческой

мысли и рук русского электротехника Александра Николаевича Лодыгина. Однако отцом ламп накаливания считается за рубежом американский изобретатель Эдисон. В действительности Эдисон не изобрел, а лишь усовершенствовал лампу накаливания, образцы которой были завезены в Америку русским морским офицером А. Хотинским.

Не намереваясь умалить значение работы Эдисона, отметим, что возможность широкого применения лампы накаливания решало качество ее нити: очень трудно было найти для нее достаточно прочный материал. Эдисон, со свойственными ему терпением и настойчивостью, проделал тысячи трудоемких испытаний различных материалов. Наконец, появилась «лампочка Эдисона» с угольной нитью, которая и вошла в быт. Это была хорошая для тех времен, практически пригодная лампа. Однако и тут творческий талант Лодыгина не только оставил создание Эдисона далеко позади, но вообще свел его совершенно на-нет.

Первый патент на свою лампочку Эдисон получил в 1880 году. Около десяти лет эта лампочка не имела соперниц. Но вот Лодыгин стал работать над нитью накаливания из тугоплавких металлов, в частности из вольфрама. И в течение немногих десятилетий вольфрамовые нити, постепенно покоряя угольные, полностью вытеснили их. Вольфрам оказался прекрасным, самым лучшим материалом для нитей накаливания; их до сих пор делают только из вольфрама и его сплавов.

Вольфрамовая нить — это нить А. Лодыгина. Она потребляет на 70 процентов меньше энергии, чем угольная, и дает по сравнению с ней белый, а не желтый свет. Таким образом, угольная нить Эдисона, недолго просуществовав, ушла в область истории.

Холодный „огонь“

«Новый свет» нашего времени дают люминесцентные лампы. У них те же два основных преимущества перед вольфрамовыми, что у вольфрамовых перед угольными: они требуют меньше энергии и дают «лучший» свет.

Люминесцентная лампа представляет собой стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора. Смешением разных люминофоров можно получить белый свет и свет, близкий к дневному. Лампы дневного света втрое экономичнее обычных, а белого — в три с половиной раза. Эти лампы будут все более совершенствоваться и входить в быт. Частично ими уже давно пользуются на некоторых заводах и фабриках, в шахтах, на московском метрополитене, в музеях, на выставках, в больших магазинах.

Люминесцентные лампы обладают особенностью, отличающей их от всех других осветительных приборов, которыми когда-либо пользовались люди. Начиная с первобытной деревенской лучины, переходя к свечам, керосиновым и газовым лампам и кончая электрическими лампами накаливания и дуговыми, все источники искусственного света страдают одним и тем же недугом: они производит не свет, а тепло. На тепло уходит и в виде тепла излучается до 90, 95 и более процентов энергии. Свет оказывается каким-то жалким «придатком» к теплу. Почти во всех его источниках возникает огонь, который в основном выделяет тепло и светит лишь «между прочим». Только в электрических лампах нет огня. Но и в них девять десятых энергии затрачиваются на тепло. Даже солнце, вещество которого сильно раскалено, излучает очень «неэкономичный» свет. Следовательно, свет всех видов, о которых до сих пор шла речь, — свет «горячий».

Люминесцентные лампы привели нас в царство иного света — холодного; поэтому они и экономичнее всех других. Правда, практически и они не совсем холодны, так как возбудители свечения люминофоров — ультрафиолетовые лучи — порождаются раскаленными парами ртути. Но ртути во всей лампе — всего одна капля; воздух из трубки выкачан, и в нее введено небольшое количество газа аргона. Во всяком случае, во время «горения» люминесцентные лампы только теплы.

Природа давно «применяет» холодный, безогненный свет. Холодно блестят луна и планеты. Эти «небесные зеркала» просто отражают свет солнца. Существует, однако, во вселенной и «настоящая» люминесценция. Так светятся огромные газовые туманности, холодным огнем сияют хвосты комет...

Но существуют и иные виды люминесценции, когда свечение вызывается не действием света извне, а сложными превращениями в самом веществе в результате химических процессов. Это так называемая хемилюминесценция. Так светятся различные представители фауны и флоры, например всем известные червяки-светляки и многие морские жители — губки, полипы, медузы, некоторые моллюски и глубоководные рыбы; светятся некоторые грибы и разных видов бактерии. Поскольку процессы гниения органических веществ связаны с бактериями, то светятся иногда гнилушки в лесах и портящиеся пищевые продукты.

В стеклянных трубках с разреженным воздухом или другим газом возникает под действием электрических разрядов особое свечение — результат столкновения частичек газа с частичками электричества, о которых у нас еще будет речь. Цвет свечения зависит от рода газа в трубке. Таким образом, по цвету, а тем более по его спектру возможно определить этот газ.

Жители больших городов знакомы с этим видом люминесценции по «неоновым лампам». Такие лампы представляют собой

различной формы изогнутые трубки, в которых люминесцируют под действием электричества различные, так называемые благородные газы. Эти лампы холодны и потому очень экономичны; они применяются для освещения витрин магазинов, рекламных вывесок, запасных выходов в театрах, сигнализации при тумане, в радиоаппаратуре.

Природа воспроизводит и подобного рода люминесценцию. Северные, а правильнее полярные, сияния, поскольку они возникают в равной мере как в северной, так и в южной полярных областях, — это «настоящая», совершенно холодная люминесценция и притом в гигантских масштабах. Здесь светятся газы земной атмосферы, которые на большой высоте находятся в сильно разреженном состоянии. Вызывают это явление мельчайшие частички вещества, которые солнце расточает во все стороны наряду с лучами тепла и света. И высокие слои земной атмосферы начинают светиться совершенно подобно тому, как сияет холодный «огонь» в трубках с разреженными газами.

Высота полярных сияний колеблется в пределах примерно от сотни до тысячи километров над земной поверхностью. Кроме кислорода и азота в атмосфере имеются в небольших количествах различные другие газы; на разных высотах преобладает тот или иной из них. Богатое разнообразие окраски полярных сияний зависит от рода газа, который светится.

Почему же, однако, это явление происходит, как правило, в полярных областях?

Все хорошо знают, что земной шар представляет собой огромный магнит, а каждый магнит окружен магнитными силовыми линиями, расположенными в строго определенных направлениях. Потоки частиц, несущихся от солнца и вызывающих свечение газов, не в состоянии пробиться сквозь «толщу» магнитных линий; они способны двигаться только вдоль, а не поперек этих линий. Расположение же магнитных сил вокруг земли таково, что «солнечные частички» могут приближаться к ней именно в полярных ее областях, где они и вызывают свечение атмосферных газов.

И всюду свет, свет...

Не находите ли вы, читатель, что мы уже долго путешествуем по царству света и цвета? И куда мы только не забирались! — не перечесть всего. И все же — далеко не всюду: слишком велико, с трудом обозримо это царство. Тщетны были бы попытки не только охватить в одной книжке, но даже заглянуть во все его бесчисленные уголки, которые в течение столетий завоевывала многолюдная армия ученых мира.

Один из передовых и крупнейших отрядов этой армии представлен нашей отечественной наукой — русскими и советскими учеными; имена многих из них увековечены и в оптике.

Так, исследовал сложные явления света, среди прочего, крупнейший русский физик Николай Алексеевич Умов (1846—1915 гг.); известен рядом капитальных работ в области рассеяния света и теории спектральных серий выдающийся советский физик, академик Дмитрий Сергеевич Рождественский (1876 — 1940 гг.). Он же впервые правильно объяснил спектры некоторых металлов, дал схему атома лития и выявил строение электронных оболочек атомов, о которых у нас еще будет речь. Огромны заслуги академика Д. Рождественского и в деле организации в СССР производства оптического стекла.

Важнейшее открытие в оптике за последние десятилетия, открытие в области рассеяния света, принадлежит советскому физику — академику Леониду Исааковичу Мандельштаму (1879—1944 гг.). Работы в этой области выдвинули его в первые ряды научных светил мира. В процессе своих исследований этот советский физик не раз выявлял ошибки и заблуждения иностранных ученых.

Деятельность Л. И. Мандельштама, отмеченная рядом советских премий и орденов, тесно связана с работой других советских физиков, в первую очередь с работой академиков — выдающегося оптика Г. С. Ландсберга и крупного ученого в области электромагнитных колебаний Н. Д. Папалекси. В 1936 году Н. Д. Папалекси и Л. И. Мандельштаму была присуждена первая Менделеевская премия.

Замечательные открытия и исследования нового вида рассеяния света Л. И. Мандельштама и Г. С. Ландсберга, а также работы Н. Д. Папалекси получили важнейшее развитие в трудах академиков А. А. Андронова, Н. М. Крылова, члена-корреспондента Академии наук СССР Н. Н. Боголюбова и других советских ученых. Под руководством Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси была создана замечательная установка, позволяющая сосчитать число радиоволн, укладывающихся на известном расстоянии между двумя пунктами. Специальные опыты этих же ученых показали, что скорость распространения радиоволн вблизи земной поверхности равна скорости света в пустоте.

Невозможно рассказать в этой книжке о всех исследованиях лабиринтов царства света хотя бы только названными крупнейшими советскими учеными. А полное изложение учения о свете потребовало бы многотомного издания... Однако с главным мы познакомились и в этой маленькой книжке. Мы видели, как разнообразны и многообразны, важны и велики, а подчас неожиданны и удивительны проявления и роль света и цвета в мире зримого и незримого.

Мы живем в космосе мириад сверкающих солнц-звезд; поэтому мы всюду встречали свет; им полны безбрежные просторы мира; вселенная есть вселенная света — световых волн, лучей.

Теперь, когда наши экскурсии подходят к концу, своевременно и уместно поинтересоваться вопросом: а что это за явление— «свет»?

Читатель может удивленно сказать: это теперь-то мы уже во всяком случае знаем.

Нет, дорогой читатель, как раз этого мы еще не знаем.

Что же такое „свет“?

После всех наших странствий вы вправе, конечно, утверждать: мы установили, что свет — это электромагнитные волны; видимый свет — это электромагнитные волны длиною примерно от 0,7 до 0,4 микрона.

Совершенно верно! Но скажите: а в какой среде живут ваши электромагнитные волны? Ведь они бегут сквозь пустоту. Что же они такое, из чего состоят?

В начале книги мы временно обошли эту трудность. Но она неизбежно встречается нам снова. Ньютону в XVII веке было легче, чем нам сейчас, ибо «его» свет не нуждался в среде: он не состоял из волн. Ньютон считал свет потоком «корпускул»— мельчайших тел — световых частиц.

Это было неплохо, это объясняло кое-что, например, отражение света: корпускулы отскакивают подобно мячам. Это объясняло и различие цветов: корпускулы должны быть разноцветны; смешанные, они дают белый свет. Точно так смесь порошков спектральных цветов выглядит беловатой, хотя каждая крупинка смеси сохраняет свой цвет.

Но корпускулярная теория становится втупик перед некоторыми другими явлениями. Так, она беспомощно отступает перед «дифракцией» света, а именно: многочисленные опыты и наблюдения показывают, что вокруг малых препятствий свет изгибается: обогнув эти препятствия, световые лучи продолжают свой прямой путь в прежнем направлении. Разве корпускулы, то есть тела, налетая на преграды, могут вести себя так? Ни в коем случае!

Зато подобное поведение световых лучей прекрасно объясняет волновая теория. Способность «дифрагировать», как мы знаем, свойственна именно волнам. Эта способность волн позволяет определить их длину у лучей разных цветов.

Действительно, вспомним пример с озером и столбом в воде. Возможно рассчитать соотношение между толщиной столба и длиной волны, которая в состоянии обогнуть его. По размерам

препятствий, какие огибаются лучами того или иного цвета, и была найдена длина их волн.

Волновая теория прекрасно объясняет преломление (тележка!) и разложение света. Более того, опыт показывает, что световые волны поперечны. Следовательно, они существуют, ибо несуществующее не может обладать какими-либо свойствами; следовательно, волновая теория справедлива.

Проверим, являются ли световые волны поперечными. Как всегда, решающее слово скажет здесь эксперимент.

Представьте себе лист картона с продолговатой прорезью, в которую может пройти карандаш. Укрепим лист вертикально, чтобы и прорезь была вертикальной. Тогда возможно будет двигать карандаш в прорези вверх и вниз (но не в стороны) и, во всяком случае, вперед и назад.

Приложим теперь к листу картона другой подобный лист с такой же прорезью. Пусть сначала прорези совпадают. В этом случае мы сможем двигать карандаш попрежнему. Но повернем второй лист на четверть оборота. Тогда обе прорези образуют крест, и от них останется лишь один общий квадратный просвет. Мы сможем уже двигать карандаш только вперед и назад: движению вверх и вниз воспрепятствует второй лист, в котором прорезь горизонтальна, а движению в стороны — первый лист, в котором прорезь вертикальна.

Возьмем теперь две тонкие прозрачные пластинки из минерала турмалина. Посмотрим сквозь одну из них на светящуюся точку. Она хорошо видна. Затем сложим обе пластинки и снова взглянем на точку. Она остается видимой: луч света проходит сквозь обе прозрачные пластинки.

Начнем поворачивать одну из пластинок. Светящаяся точка меркнет и перестает быть видимой... Продолжаем вращать турмалин. Через некоторое время свет снова появляется, и, когда пластинки возвращаются в первоначальное положение, точка достигает прежней яркости. О чем говорит этот опыт?

Чтобы разобраться в нем, сопоставим его с предыдущим примером.

Движения карандаша вперед и назад представляли собой продольные колебания; подобным образом мы могли двигать карандаш при любом взаимном расположении листов картона. Точно так проходили бы сквозь прорези при любом их взаимном положении и воздушные звуковые волны, поскольку они продольны. Движения же карандаша вверх, вниз и в стороны —это поперечные колебания. Они возможны только при одном определенном взаимном положении листов.

Светящаяся точка была сначала хорошо видна сквозь обе турмалиновые пластинки. Это значит, что пластинки прозрачны, то есть хорошо пропускают световые лучи.

Однако при повороте одной из них точка перестала быть видимой. Следовательно, пара прозрачных пластинок стала непрозрачной — она уже не пропускает более лучей света. Это ясно показывает, что световые волны поперечны.

Более того, «одним ударом двух зайцев»: раз какие-то волны поперечны, то, следовательно, они — волны, а не что-либо иное, например, корпускулы Ньютона. Иначе говоря, опыт с пластинками кристалла подтверждает волновую теорию и свидетельствует против корпускулярной. «Корпускулярный луч» света проходил бы сквозь пластинки при любом их взаимном положении. Предположим, например, что мы направили в прорези листов картона тонкую струю крупинок какого-либо порошка. Струя эта, движение частиц которой только продольно, проходила бы, как и карандаш, сквозь общее отверстие в листах независимо от их расположения.

С течением времени физики все больше склонялись в сторону волновой теории света. Важно отметить, что в период, когда еще господствовала теория Ньютона, наш Михайло Ломоносов решительно высказывался против нее. Со свойственной ему гениальной прозорливостью во всех областях науки, он, совершенно не имея тех экспериментальных данных, которыми располагали физики более поздних времен, высмеял корпускулы Ньютона и с помощью остроумных и убедительных доводов опроверг его теорию.

Итак, волновая теория восторжествовала над корпускулярной. Но ее победа не принесла физикам безмятежной радости. Наоборот, она означала наступление великого бедствия: немедленно возникал неизбежный вопрос среды электромагнитных волн, возрождавший мучительную загадку: что же такое свет?

Положение, казалось бы, безысходное. Но волновая теория была настолько заманчива, что ради ее спасения предприняли исключительный маневр: для световых волн придумали среду.

Старое бедствие

Новой среде дали старинное имя — эфир — название фантастического вещества, которым древнегреческие философы наполняли в своем воображении весь мир.

Таинственный эфир был наделен странными свойствами: он и невидим, и невесом, и несжимаем; он всюду имеется, нигде не занимая места; «вездесущий», он вместе с тем неуловим — его никогда и никак не удавалось обнаружить... Такое «вещество» удивительно и непонятно, неестественно и невероятно.

Но, скрепя сердце, физики терпели это: перед ними жестко стояло неумолимое «или-или»: или вы признаете эфир, или у вас не будет среды для электромагнитных волн. Без эфира физики даже в XX веке были бы так же беспомощны, как в древние времена; без него они стояли бы перед потрясающим фактом — неспособностью объяснить, понять, что такое свет, это буквально «бьющее в глаза» явление.

Человек всегда стремился объяснить явления природы — в этом суть науки. Чтобы покорять природу, надо овладевать не только практикой, но и познавать теорию, которая выводится из практики. Правильная теория — это могучее орудие для подчинения стихий разумной воле человека. И вдруг — наука без теории света! Это было бы неслыханным делом.

Вот что питало эфир — предполагаемую стихию «ясного света». Питало долго, однако не спасло. С неестественностью эфира еще мирились, но в конце прошлого века произошло нечто худшее — то, чего терпеть никак нельзя было.

Очень долго люди не знали, что такое огонь, теплота. Еще в древности над этим размышляли философы. Позднее для объяснения тайны тепла и горения придумали особую «невесомую жидкость»—«теплород», от количества которого в телах зависит их температура.

Лишь М. В. Ломоносов, гений которого и в этом вопросе опередил свое время, правильно понимал теплоту как механическое движение частиц.

Прошло столетие, и все ученые присоединились к точке зрения Ломоносова; теплород был сдан в архив истории науки. Но столь же фантастический эфир просуществовал еще целый век, пока не произошло событие, решившее его судьбу.

Плавая по озеру, лодки перемещаются, а вода остается на месте. На языке физики это означает: движущиеся тела не увлекают за собой среду. И вот у ученых возник вполне законный вопрос: увлекают ли они эфир?

Наблюдения и опыты при участии света отвечали на этот вопрос и «да» и «нет». Возникло противоречие, многие годы тяготевшее над физикой непостижимой загадкой.

Долго трудились крупнейшие умы мира над головоломкой эфира. Наконец, они пришли к единственно возможному выводу: эфир противоречив потому, что его не существует.

Но... гибнет эфир — возрождается старое бедствие. От него никуда не уйти. Загадка среды становится уже нестерпимой, чудовищной. Вы читаете эти строки при каком-то свете; такой ясный и очевидный, он тут у всех прямо перед глазами.

Так что же это, наконец, такое?! Что такое электромагнитные волны?

„...Как стулья, на которых мы сидим“

Совершим небольшой скачок во времени и перейдем к современной теории света. Для этого продолжим начатую на первых страницах книжки беседу об электромагнитных явлениях.

Мы говорили тогда о влиянии провода, несущего электрический ток, и магнита на железо и магнитную стрелку. Отметим теперь две особенности явлений такого рода: участвующие тут тела разделены некоторым расстоянием и не связаны друг с другом; пространство между ними может быть совершенно пусто.

О чем это говорит?

О том, что пространство обладает способностью передавать электромагнитное влияние, то есть какое-то действие, на расстояние. Таков факт. Иначе говоря, распространение электромагнитного действия есть физическое свойство пространства. Такова природа вещей.

В начале беседы об электромагнитных явлениях мы нашли: то, что распространяется, ведет себя, как волны. А так как распространяется электромагнитное действие, то мы назвали данные волны электромагнитными волнами.

Теперь необходимо ввести еще одно название. Область каких-либо действий часто называют полем. Говорят, например, поле военных действий, поле битвы, сражения, обстрела, наблюдения, деятельности и так далее. Словом «поле» пользуются и физики, в частности для электромагнитных волн. Получается «электромагнитное поле».

Электромагнитное поле и есть среда электромагнитных волн.

На первый взгляд это утверждение может показаться простой игрой, пустой заменой слов. Можно подумать: в чем же различие между эфиром и электромагнитным полем? Одно не лучше другого. От перемены вывески дело не меняется. Сначала мы назвали нечто неизвестное, как в задачах, «иксом», а теперь — «игреком». Но ведь от этого непонятное не стало понятным.

Нет, это не так: в действительности между понятиями эфира и электромагнитного поля — коренное различие.

Для объяснения любого явления, например молнии, есть два пути. Образец первого пути: молнии мечет сердитый Илья-пророк. Второй путь: молния — это электрический разряд.

Первый ответ выдуман без всякого основания, чтобы как-нибудь объяснить непонятное. А выдумывать без оснований и доказательств можно десятки, сотни, тысячи фантастических вещей. Поэтому первый ответ ложен.

Второй ответ основан на наблюдениях и опытах. Они отображают факты, которые не надуманы, а установлены и доказа-

ны. Поэтому второй ответ справедлив. Факты надо исследовать и суметь понять их язык. Таков путь правильного объяснения явлений — путь науки.

К электромагнитному полю люди пришли научным путем. Ему не приписывали ничего вымышленного. Беря природу такой, какова она есть, поле познали по его реальным свойствам — познали как носителя свойств, изученных на опыте.

Конечно, очень не легко привыкнуть к представлению, что «совершенная пустота», само пространство, представляет собой нечто физическое с физическими свойствами. Разуму с непривычки трудно признать существование того, что мы никак не ощущаем и не воспринимаем органами чувств.

Но органы чувств, о чем уже говорилось, абсолютно и никак не воспринимают и электромагнитные силы, действующие, например, в электромоторах. Для наших ощущений они совершенно неотличимы от «полнейшей пустоты». Однако никто не сомневается в их существовании. Не достаточно ли убедительное доказательство их реальности — стремительно мчащиеся тысячетонные электропоезда?

Современные физики с полным правом и основанием заявляют: «Электромагнитное поле так же реально для нас, как стулья, на которых мы сидим».

„Ваш Лебедев заставил меня сдаться“

И все же эфир не полностью изгнан из языка техники. До сих пор мы условно пользуемся его именем, например в области радио.

Помня теперь, что фраза «в эфирные края радио» — только условная фраза, вернемся в эту страну электромагнитного поля к нашим прежним наблюдениям.

Мы нашли тогда, что посредником между электрическим током и магнитной стрелкой должны быть «какие-то» волны. Но тогда мы еще не знали, что это за волны и какова их среда; мы дали им «пока» — помните? — только имя: электромагнитные.

Тогда эти волны еще были — и долго оставались для нас — таинственны, а среда их — загадочна. Сейчас нам известно и то и другое.

В краю радио мы получили ключ к владениям света. Им послужило сообщение, что «луч света есть ряд электромагнитных волн». Приняв тогда это утверждение на веру, мы перешагнули рубеж лучезарного мира. А сейчас познакомимся с некоторыми основаниями в пользу электромагнитной теории света. Для этого перенесемся в годы, предшествовавшие рождению этой теории.

Итак, мы в XIX веке. Никакого отношения к понятию об «электромагнитном» свет пока еще для нас не имеет. Пока нам известно лишь, что электромагнитные «силовые линии» располагаются под прямым углом к направлению их распространения. Это было выведено теоретически и подтверждено опытом. Таким образом, электромагнитные волны поперечны.

Опыт с турмалиновыми пластинками показал, что и неизвестные нам световые волны поперечны.

Отметим это и пойдем дальше.

Из теории поля и некоторых опытов, не связанных с распространением электромагнитных волн, вытекает, что скорость таких волн должна равняться скорости света. Не знаменателен ли этот факт? Он был установлен в 1863 году — еще до того, как существование электромагнитных волн подтвердил эксперимент. Получил эти волны в 1888 году при опытах с электричеством немецкий ученый Герц.

Любопытное обстоятельство: Герц считал, что у электромагнитных волн нет практического будущего; опыты с ними не выйдут за пределы лабораторных стен.

Герц оказался плохим научно-техническим провидцем. Русский ученый, знаменитый изобретатель А. С. Попов, задался целью заставить электромагнитные волны передавать на расстояние человеческую мысль — телеграфно, но без проводов. Эта необыкновенно смелая, дерзкая для конца XIX века идея казалась неосуществимой, фантастической, однако А. С. Попов, прославленный основоположник радио, блестяще осуществил поставленную им перед собой задачу.

Опыты, непосредственные измерения показали, что скорость распространения электромагнитных волн действительно равна скорости света. Это событие—торжество научного предвидения—явилось большим праздником науки.

Так теория и эксперимент все более показывали, что в основе электромагнитных и световых явлений лежат одни и те же законы. В результате всего этого и было признано, что свет — явление электромагнитное.

Электромагнитную теорию света выдвинул английский ученый Максвелл. Позднее он теоретически нашел, что свет должен давить на поверхность, на которую он падает. Но как проверить это? Легко сказать — измерить давление света! Подсчеты показывали: оно должно быть настолько мало, что даже обнаружить его казалось непосильной для экспериментальной физики задачей.

Но оно было и обнаружено и измерено! Эту задачу решил один из величайших физиков-экспериментаторов мира Петр Николаевич Лебедев.

Работы Лебедева — еще одно грандиозное событие в истории не только русской, но и мировой науки, представляющее предмет заслуженной гордости нашей Родины и ее народа.

О впечатлении, которое произвели гениальные опыты Лебедева на мировое общественное мнение, свидетельствуют слова крупнейшего английского физика Томсона, сказанные им однажды Тимирязеву: «Вы, может быть, знаете, что я всю жизнь воевал с Максвеллом, не признавал его светового давления, и вот ваш Лебедев заставил меня сдаться перед его опытами».

Световое давление действительно оказалось ничтожно малым. Лучистая энергия солнца давит на земной шар с силой, несколько превышающей 60 000 тонн. Это вес всего лишь 20 тяжелых товарных поездов. На квадратный же метр давление лучистой энергии солнца составляет, при самых благоприятных условиях, менее одной двухтысячной доли грамма.

Волновая теория торжествовала свою победу. Еще одно явление подкрепляло ее справедливость.

Мы не раз пользовались примером с палкой, вызывающей на поверхности воды волны. Но что получится, если двигать не одной, а двумя расположенными на некотором расстоянии друг от друга палками?

Волны от обеих палок будут встречаться и как-то действовать друг на друга. Такое взаимодействие волн называется интерференцией. Предположим, что палки создают волны одинаковой длины и частоты, причем гребни и ложбины встречающихся волн соответственно совпадают. Тогда волны будут усиливать друг друга. Если же гребни одних совпадают с ложбинами встречных, то волны будут уже не суммироваться, а противодействовать, гасить одна другую.

Если свет — явление волновое, то и при встрече световых лучей должно происходить нечто подобное. И может случиться, что свет погасит свет. Это звучит странно, но это должно быть так.

Сторонникам волновой теории удалось поставить опыты, наглядно демонстрировавшие интерференцию света. В одних случаях первый свет усиливал второй, а в других — гасил его. Два света давали тьму. Выходило буквально так: свет плюс свет равен тьме. Да, свет — это волны!

Итак, волновая теория справедлива. От самого серьезного, существенного ее недостатка удалось избавиться: среда найдена.

Наконец-то свет «прояснился». Значит, на этом — конец и нашим странствиям?

Нет, не конец. С рождением понятия электромагнитного поля бедствия не кончились. По мере дальнейшего развития физики, с ростом ее успехов свет снова начинает терять ясность...

О „зернах“ вселенной

Корпускулярная теория Ньютона давно сдана в архив истории физики. Но вот перед нами снова мелькает ее забытая тень... Что случилось?

Нас направляют в микрокосм — предлагают познакомиться с атомом.

В микрокосме мы узнаем о сотнях и тысячах сложных веществ, из которых построены наши организмы, одежда, весь окружающий мир; узнаем, что сложные вещества можно разлагать на простые, — такие, которые в обычных условиях уже не распадаются на более простые. Эти «простые вещества» называются химическими элементами.

Разных химических элементов существует в природе всего около сотни. Их число определилось знаменитой таблицей одного из величайших ученых мира — русского химика Дмитрия Ивановича Менделеева.

До Менделеева казалось, что число химических элементов неопределенно; казалось, что, вместе взятые, они представляют случайный набор, беспорядочное нагромождение разнообразных веществ: железа, серы, иода, урана, углерода, ртути...

Менделеев привел их в строгую систему, известную под названием «периодической системы химических элементов». Этот важнейший «периодический закон» лег вечной и незыблемой основой химии и учения об атоме.

Когда Менделеев установил общее число существующих химических элементов, многие из них еще не были открыты. Тем не менее великий русский химик описал эти неизвестные элементы, указал их свойства, их особенности. И предсказания Менделеева удивительно сбывались!

Если химические элементы нельзя разлагать, то их можно дробить, делить. Однако и делить какое-то количество вещества бесконечно на все меньшие части нельзя. Есть предел, существует самый маленький кусочек каждого химического элемента. Значит, вещества — не сплошные массы, какими они выглядят; они состоят как бы из зерен. Эти «зерна», то есть «самые маленькие кусочки» химических элементов, и есть атомы.

Водород и кислород, например, — простые вещества, химические элементы. Если смешать эти газы, получится смесь, известная под названием гремучего газа. Но атомы разных элементов могут не только смешиваться; они могут и крепко связываться особым образом — давать то, что называется «химическим соединением».

Химическое соединение атомов водорода и кислорода в определенной пропорции образует воду — сложное вещество, непохо-

жее ни на водород, ни на кислород. С помощью электрического тока воду можно снова разложить на составляющие ее газы.

Химические элементы различны потому, что различны их атомы. Так, медь состоит из атомов меди, а сера — из атомов серы. Подобно этому рожь и пшеница — не сплошные вещества, и различаются они тем, что первая состоит из ржаных зерен, а вторая — из пшеничных.

Но зерна той и другой мы видим — они достаточно велики для этого. Атомы же невообразимо малы: не существует микроскопа, в который бы можно было различать их. Поэтому вещество и кажется нам сплошным. Длина цепочки, составленной из десяти миллионов атомов, равнялась бы всего одному миллиметру. Если мысленно увеличить атом до размеров сливы, то сливу пришлось бы соответственно увеличить до размеров земного шара.

А делим ли сам атом?

Строго говоря, — нет, иначе он не был бы самым маленьким «кусочком» простого вещества. Действительно, представим себе для примера склад посуды. Пусть она состоит только из стаканов. Эту посуду, «вещество» склада, можно делить на какие угодно части и брать в любых количествах, но не менее одного стакана; стакан в этом случае будет «атомом посуды». Что же мы ответили бы на вопрос: делим самый стакан или нет?

Мы ответили бы: строго говоря, — нет; стакан нельзя разделить — его можно только разбить. Однако после этого он уже не будет более стаканом. А масса осколков разбитых стаканов не будет посудой.

Разбивать можно и атомы. Но масса разбитых атомов, то есть их «осколков», например осколков атомов кислорода, железа или серы, уже не будет ни кислородом, ни железом, ни серой. Что же это за «вещь» — «осколки атомов»?

Углубимся еще больше в микромир и познакомимся со строением самих атомов.

„Электромагнитный клубок“

Слово «атом» происходит от древнегреческого «атомос», что значит «неделимый». Размышляя о строении материи, древнегреческие философы решили, что она состоит из мельчайших, уже неделимых «кусочков». Однако современное учение об атоме не имеет, конечно, ничего общего с древнегреческими домыслами о «неделимом». В действительности и атомы — не сплошные куски вещества, вроде кирпичей, составляющих здания.

Атом оказался сложной системой; ее центр занимает ядро, вокруг которого обращается от одного до сотни электронов. Ядро, в свою очередь, состоит из одной, нескольких десятков и даже сотен частичек материи. Простоты ради мы так и будем их впредь сокращенно называть: частички или частицы.

Название «электроны» — не случайное; это те самые электроны, благодаря которым возникает электрический ток. Их можно считать «зернами», «атомами электричества». С другой стороны, ядра тоже представляют собой электрически заряженные тела. Таким образом, атом — это сложная электромагнитная система, «электромагнитный клубок», как образно и остроумно назвал атом наш ученый, покойный академик А. Е. Ферсман.

Самый простой атом — атом водорода. Его ядро представлено всего одной частичкой, вокруг которой обращается всего один электрон.

Размеры ядер и электронов ничтожны по сравнению даже с самым маленьким атомом. Цепочка из сотен миллионов ядер водородных атомов растянулась бы всего на один микрон.

Мы видим, как много удивительного в атомном микрокосме. Но замечательнее всего, пожалуй, скорость, с какой электрон, скажем, в атоме водорода, движется вокруг своего ядра. Она составляет 2200 километров в секунду! Достаточно удивительно само это четырехзначное число километров, однако то, что из него вытекает, — совершенно поразительно. Ведь диаметр кружочка, по которому бежит электрон, равен одной десятитысячной доле микрона. Сколько же оборотов должен сделать электрон, чтобы покрыть 2200 километров?

Это число оборотов состоит из 16 цифр... Если бы каждый оборот электрона длился одну секунду, то на 16-значное число оборотов ушло бы более двухсот миллионов лет.

Наш организм состоит на две трети из воды, в которой содержатся несметные мириады водородных атомов. В каждом из них электрон ежесекундно пролетает расстояние, равное отделяющему Ленинград от Кавказа; для этого ему приходится ежесекундно обегать свое ядро столько раз, сколько секунд в 200 миллионах лет. Вот что происходит в незримом микромире внутри нас.

Теперь становится понятным, что представляют собой «осколки» атомов. Это — отдельные ядра и электроны. Таким образом, разбивать атомы — значит вырывать из них электроны, оголять ядра. Выясняется и то, почему «атомным» физикам бывает легче изучать вещество на далеких звездах, чем у себя под рукой.

Звезды — это гигантские естественные лаборатории, в которых материя находится в состояниях, неизвестных на земле и недостижимых в земных лабораториях. На нашей планете мате-

рия очень сложна. Холодная, она образует миллионы веществ: минералы, неорганические и органические соединения и, наконец, живые организмы.

Все это гораздо проще на солнце и других звездах. Температура на их поверхностях измеряется тысячами градусов. Уже при такой температуре многие атомы лишены некоторых своих электронов, а чем дальше в глубь звезд, тем «теплее». В центрах звезд температура достигает десятков миллионов градусов!

Ядра атомов очень прочны, но подобной «жары» не выдерживают даже они: большинство их в той или иной мере разбито. Ясно, что богатое разнообразие веществ, какое имеется на земле, на солнце и звездах невозможно. Не может быть и речи о существовании там не только органических веществ, но и многочисленных минералов и других неорганических соединений химических элементов.

Мало того, там нет даже ряда самих этих привычных нам элементов, поскольку все наиболее легкие атомные ядра полностью оголены: атомы, у которых электронные оболочки целиком оборваны, уже не представляют химических элементов в обычном для нас на земле виде. И в необыкновенной обстановке звездных недр происходят удивительные процессы, в том числе «волшебные» превращения ядер одних химических элементов в ядра других.

Проще, конечно, изучать кирпичи и их обломки, нежели здания, построенные из кирпичей. Вот почему, как это ни парадоксально, легче в известных отношениях исследовать вещество на звездах, чем на земле.

Теперь у нас уже не возникает вопроса: как же это, однако, возможно? Мы догадываемся, что раскаленные облака из целых, «поврежденных» и «разбитых» атомов дают разные спектры. И мы понимаем, что о том, в каком состоянии находятся атомы на звездах и какие необыкновенные для нас процессы протекают в веществе этих безмерно удаленных светил, рассказывает все тот же чудесный, разложенный призмой загадочный свет.

„Зерна света“

Диковинки микрокосма отвлекли наше внимание от постигшей нас неприятности. Но возвращение к ней неизбежно.

Неприятность случилась у нас с волновой теорией.

Опыты показывают, что ультрафиолетовые лучи выбивают электроны из атомов газов, входящих в состав воздуха. Лучи видимого света действуют слабее, а рентгеновы — сильнее. Еще сильнее — гамма-лучи и космические.

Это явление происходит в больших масштабах в природе: так действуют на воздух и лучи солнца.

Подобному влиянию лучей подвержены не только газы, но и, например, металлы. Это явление, в области которого важнейшие, капитальные исследования произведены одним из основоположников русской физики Александром Григорьевичем Столетовым, называется «фотоэлектрическим эффектом».

Что, однако, страшного в этом фотоэффекте, в чем здесь беда?

В том беда, что волновая теория не в состоянии объяснить фотоэффект, как и некоторые другие факты.

Каким образом могут волны света, падающие на металл, вырывать из него электроны?

Тут должно происходить нечто другое. Расчеты и исследования фотоэлектрического эффекта показывают, что это «нечто» действует не как волны, а подобно снарядам. Точно так по виду стены нетрудно узнать, размыта ли часть ее волнами или разрушена снарядами.

Не корпускулы ли какие-нибудь действуют в фотоэлектрическом эффекте?..

Да, нечто корпускулярное. Но ничего общего не имеющее с корпускулами Ньютона. Этому «нечто» дано название «квант».

Возникла квантовая теория света. Родились даже новые науки — квантовая механика, квантовая химия. Придется нам познакомиться и с квантами.

Мы видели, что материя — не сплошная, а «зернистая»; «зерна» простых веществ — атомы. Атом — это наименьшее возможное количество простого вещества, точно так, как стакан в нашем примере был наименьшим возможным количеством посуды.

Мы видели, что и электричество — не сплошное, а «зернистое»; «зерна» электричества — электроны. Один электрон — это наименьшее возможное количество электричества. Но, с другой стороны, электроны входят в системы «электромагнитных клубков» — атомов, составляющих вещество. Заметим это и пойдем дальше.

Выяснилось, что не только электричество, но и энергия других видов не сплошного, а «зернистого» строения. Это значит, что и ее, как посуду из стаканов, можно мерить не сплошь любыми количествами, а счетом, целыми единицами, то есть какими-то наименьшими, уже неделимыми порциями. Им и дано имя латинского происхождения «квант» («квантум» — «сколько»). Вообще квант — это наименьшее количество какой-либо физической величины, которое может существовать самостоятельной единицей.

Кванты — не искусственное «нечто», вроде теплорода или эфира, сфантазированных лишь для того, чтобы как-нибудь по-

нять непонятное. Кванты энергии не придуманы; к ним непреложно вел и привел огромный наблюдательный и экспериментальный опыт физики. Подобно этому, по складским записям полученной и выданной посуды мы могли бы установить существование отдельных, неделимых стаканов, даже не видя их.

Итак, энергетические, в том числе и световые, процессы протекают единичными действиями, толчками, как бы «штучно», то есть подобно каплям ливня, а не сплошному потоку воды; короче говоря, — квантами.

Квантовая теория устраняет противоречия, подтверждается расчетами и многое объясняет, в частности фотоэлектрический эффект. Пусть «ливень» световых квант — они называются в данном случае «фотонами» — падает на металлическую пластинку. Во время сложного взаимодействия между этим «ливнем» и металлом фотоны, ударяя атомы, выбивают из них электроны.

Опыты показали, что у лучей разных цветов фотоны обладают различной энергией. Так, у красных она вдвое меньше, чем у фиолетовых. Таким образом, энергия фотонов обратно пропорциональна длине волн. Понятно поэтому, что коротковолновые ультрафиолетовые лучи выбивают из металла электроны сильнее, чем фиолетовые, а лучи Рентгена, как более коротковолновые, — еще сильнее.

Однако от понятия волн и, следовательно, их длины мы пока отказались. Поэтому теперь нам придется говорить так: «Луч света — это поток, «ливень» фотонов, причем энергия фотонов красного света вдвое меньше энергии фотонов фиолетового».

Можно рисовать «квантовую картину света» и дальше. Возьмем для примера пары раскаленного натрия или светящиеся газы в трубках. Прежде мы говорили, что цветные линии их спектров соответствуют волнам определенной длины. Теперь надо будет внести в эту фразу поправку: не «волнам определенной длины», а «фотонам с определенной энергией».

Превосходно. Быть может, квантовая теория покажет нам кстати, где и как зарождается, возникает свет? Посмотрим.

Раскаленные пары металлов излучают энергию, свет. Но химические элементы состоят из атомов. Следовательно, свет излучают атомы. Излучая его, они расходуют энергию. А количество того, что расходуется, естественно, становится меньше. Ведь когда выпускают из сосуда, скажем, воду, ее уровень в нем понижается. Можно поэтому сказать, что «уровень энергии» атома, после излучения им какого-то ее количества, становится ниже. Разность между прежним и новым уровнем равна, очевидно, энергии излученных, выброшенных атомом фотонов.

Справедлива ли квантовая теория для света?

Рассмотрим показания спектрального вестника из глубин макрокосма. Пусть он принесет нам на этот раз весть из недр невидимого микромира — атома. Для этого попытаемся разгадать самый «язык радуги».

Линейчатый спектр излучения состоит из отдельных резких цветных линий, разделенных тьмой. Они не переходят постепенно одна в другую. О чем это говорит?

О том, что атомы каждого химического элемента имеют свои определенные уровни энергии, которые изменяются не плавно, как у воды, вытекающей из сосуда, а скачками. Иными словами, атомы излучают свет, световую энергию какими-то целыми порциями, то есть квантами, фотонами. Значит, линейчатый спектр излучения свидетельствует в пользу квантовой природы света.

Прекрасно. Но... а как быть с дифракцией и интерференцией света, которые бесспорно подтверждают волновую теорию?

Раньше мы спрашивали: что такое свет — корпускулы или волны?

Теперь мы спрашиваем: волны или корпускулы? То есть: ливень ли световых корпускул — фотонов?

В первом случае мы решили: волны. А что мы должны решить теперь? Иначе говоря, что такое свет на самом деле — волны или кванты?

Вторая загадка света

Отменяется ли в связи с открытием квант волновая теория света?

Нет, не отменяется: эксперимент подтверждает волновую природу света, существование световых волн.

Принимается ли квантовая теория света?

Да, принимается: эксперимент подтверждает квантовую природу света, существование световых квант.

А эксперимент — верховный судья; его определения непререкаемы.

Как же тогда совместить две противоречивые теории, которые в действительности... замечательным образом уживаются?!

Новый парадокс света!

Но, быть может, этот парадокс возникает лишь в нашем сознании? Возникает потому, что нам бывает трудно освоиться с новым, необычным, непривычным? Ведь не могли же, например, некоторые наши предки примириться с шарообразностью земли. Они не в состоянии были представить себе, как «головы людей, стоящих на разных сторонах земли, могут быть направлены одновременно и вверх и в противоположные стороны». А мы дав-

но освоились с этим фактом; надо было только правильно понять, что такое «верх» и «низ».

Попытаемся разобраться и во второй загадке света.

В первую очередь, признаем факт: волновая теория многое объясняет. Более того, она дает объяснения там, где квантовая теория этого сделать не может. И наоборот. Иными словами, ни одна из обеих теорий не объясняет всего, вместе же они объясняют все.

Получается, что свет — это и волны, и кванты! Точнее: в одних случаях свет «ведет себя», согласно показаниям опытов, как волны, а в других — как кванты. Еще точнее: чем «длиннее электромагнитные волны», как мы прежде говорили, тем сильнее выступает волновая природа явления. Напротив, чем они короче, тем ярче проявляется квантовый характер лучистой энергии.

Так, в излучении радиостанций не замечается каких-либо частичек — квант; излучение это — «очень волновое». Строение же лучей Рентгена, гамма и космических — явно квантовое!

Мы видим, что загадки света — это загадки не только света. Охватив учение о веществе и энергии в целом, они оказались гораздо шире, глубже и серьезнее, чем можно было вначале думать.

Загадка среды привела нас к электромагнитному полю, значение которого выходит далеко за пределы царства света. В поисках ответа на вопрос «волны или кванты?» мы попали в необозримый космос атома, в область новой науки — атомной физики. Там мы получили разъяснение: «одновременно и волны, и кванты».

Таким образом, заглянув за завесу микрокосма, мы неизбежно сталкиваемся с новым вопросом: где же кончается одно и начинается другое? И не случайно мы называли кванты энергии и фотоны корпускулами, или частичками. Старые понятия покинули в микромире свои привычные места и смешались с понятиями новыми.

Действительно, электрон, стремительно бегущий в атоме вокруг ядра, несомненно, — частица, «кусочек» вещества. Известно даже, что он примерно в 1800 раз легче ядра атома водорода. С другой стороны, электрон — это наименьшая порция, то есть квант, электричества. А электричество — энергия. Так что же такое электрон — вещество или энергия?

Мало того, электроны, обладающие свойствами вещества, в некоторых случаях ведут себя и как волны! Опыт показывает: подобно волнам, пучки электронов «дифрагируют» и «интерферируют». Что же они такое — потоки частиц или волны?

С другой стороны, физика нашего века показала, что и энергия подчиняется силе тяготения — той силе, благодаря которой

все тела в мире притягиваются друг к другу. Прежде это считалось только свойством вещества. Теперь в выражениях «грамм тепла», «грамм электричества» или «грамм света» нет ничего парадоксального.

Не следует, однако, думать, что можно бросить «кусок» тепла или света на весы. Энергия — не предмет, и обращаться с ней, как с куском угля или дерева, нельзя. Весомость энергии надо понимать так: горячее тело тяжелее холодного, наэлектризованное тяжелее ненаэлектризованного; излучая тепло или свет, тела становятся легче, точнее — их масса уменьшается. Очевидно, потерянная ими часть массы — не что иное, как масса энергии, которая лучами покинула тело.

Это свойство энергии приблизило ее к веществу. А волновой характер потоков корпускул приближает вещество к энергии. Так что же после всего этого электрон?

Вот что мы видим за краешком завесы микрокосма. Приоткроем ее чуть больше, бросим еще один взгляд на этот удивительный мир.

Великое единство

Существуют два рода электричества. Их условно назвали когда-то положительным и отрицательным. Электрон — это частица отрицательного электричества; электрический ток представляет собой как бы ряд толкающих друг друга электронов.

В 1932 году была открыта частичка, которую назвали «позитроном» (от латинского слова «позитивус», что значит «положительный»). Новая частица подобна электрону, но противоположна по знаку. Короче говоря, позитрон — это положительный электрон.

Наблюдения показывают: в известных условиях фотон превращается в электрон и позитрон! И наоборот: столкнувшись, электрон и позитрон могут породить фотон. Что же такое свет — энергия или вещество?

Замечательный процесс превращения света в вещество изучен лауреатами Сталинской премии академиком А. И. Алихановым, действительным членом Академии наук Армянской ССР А. И. Алиханяном и другими советскими учеными. Физики А. И. Алиханов и А. И. Алиханян, исследуя космические лучи, открыли несколько лет назад простейшие частицы нового вида, остававшиеся мировой науке до тех пор неизвестными.

Итак, свет превращается в вещество и обратно — таковы неопровержимые факты. Но этого мало. Оказывается, что спо-

собны превращаться одна в другую все простейшие частички — даже те, которые еще недавно считались неизменными «кирпичами» атомов. Что же после этого вещество и что такое энергия, где кончается одно и начинается другое, где граница между ними? Или границы не следует вовсе искать, потому что ее нет?

Именно так: ее нет, отвечает наука. Наши вопросы возникают лишь потому, что мы еще мыслим по-старому, что мы еще не в состоянии представить себе вещество и энергию, в частности свет, обладающими одновременно и волновыми и корпускулярными свойствами. Объединение этих свойств еще кажется нам непостижимым.

Так было до сих пор. Но так не должно быть. Нам надо приучиться к новому смыслу понятий «вещество» и «энергия», как пришлось привыкать к ним нашим предкам; ведь во времена теплорода и наши вчерашние, устарелые ныне понятия вещества и энергии были революционно новыми и многим казались непостижимыми.

Признаем, что природа микрокосма двойственна: мельчайшие, простейшие физические величины представляют собой одновременно «и то, и другое». Но в этой двойственности природа едина, ибо «и то, и другое», как мы видели, вместе с тем одно и то же.

Конкретно:

Частица-волна — это нечто единое.

Энергия-вещество или свет-вещество — также нечто единое.

Единство частицы-волны, вещества-энергии — закон природы.

Вещество и энергия — лишь разные формы существования материи, разные формы одного и того же, могущие переходить одна в другую. Такова природа вещей.

Так «самое обычное» — свет — оказалось совершенно необычайным. Когда же мы освоимся с этим необычайным, оно снова станет для нас обычным.

Воздвигаемое ныне здание новой физики, в котором работы советских ученых занимают одно из передовых мест, предстает перед нами торжеством диалектического материализма, блестящим подтверждением его справедливости. Эта философия Маркса—Энгельса—Ленина—Сталина, раскрывая двойственность и противоречивость природы вещей, утверждает совмещение противоположностей в великом единстве.

Новая физика находится в расцвете. Она растет и обогащается. Так, советский ученый А. А. Власов выдвигает сейчас новую теорию многих частиц — совершенно новое, замечательное учение, «проливающее свет» на то, перед чем отступает современная квантовая механика, чего не в состоянии объяснить крупнейшие физики мира

Но известны ли уже все «тайны» света, энергии, вещества, то есть исчерпан ли уже атом или хотя бы электрон?

Ответим словами В. И. Ленина:

«Электрон так же неисчерпаем, как и атом, природа бесконечна...»[1].

Чем выше мы поднимаемся, тем больше мы видим. Но вместе с тем все дальше отодвигается видимый горизонт, открывая перед взором новые, неисследованные области.

В микрокосме мы столкнулись с необыкновенным, с трудом постижимым Быть может, природа ставит тут предел познанию человеком мира?

Ответим словами И. В. Сталина:

«...нет в мире непознаваемых вещей, а есть только вещи, еще не познанные, которые будут раскрыты и познаны силами науки и практики»[2].

---

[1] Сочинения, том XIII, стр. 215, изд. 3-е.
[2] «Вопросы ленинизма», стр. 543, изд. 11-е.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

СВЕТ ТВОРИТ ЖИЗНЬ 3

Цвет жизни. О «самом ясном». В поисках ключа. 40 000 в секунду. Загадка света. Что такое «цвет». В пределах трети микрона. Когда очевидное невидимо. Странные цвета. Парадокс хлорофилла. Чем мы живы. Слово за русским ученым. Великий посредник. Щедрые лучи.

В ЦАРСТВЕ РАДУГ 27

Недоразумение на аэродроме. О чудесах и призраках. Судья и учитель. Ложка в стакане чая. Фронт волн. Откровение призмы. Забавная игрушка. В плену у призмы. О «вещих предзнаменованиях». Небесный спектр. Досадные черточки. Секрет «волшебных трубок». Один грамм в миллионе ведер. Так вот в чем дело! Открытие гелия. За тысячу «световых лет». Несколько слов о мироздании. Могучее орудие.

КАК СВЕТ ПОВЕСТВУЕТ 61

«Нечестивое занятие». «Иллюзии сатаны». Стеклянная чечевица Свет увековечивает прошлое. Главный оптический прибор. Одним ударом двух зайцев. «Ни шагу дальше». Из окон межпланетной ракеты. Преломленным лучом в микромир. Навязчивый призрак. Чем мы гордимся. Плюсы и минусы. Ни той, ни другой!

НА ШТУРМ ТВЕРДЫНИ 91

«Несветящий свет». Где свет перестает быть светом. Три «русских света». Холодный «огонь». И всюду свет, свет... Что же такое «свет»? Старое бедствие. «...Как стулья, на которых мы сидим». «Ваш Лебедев заставил меня сдаться». О «зернах» вселенной. «Электромагнитный клубок». «Зерна света». Вторая загадка света. Великое единство.

Редактор Б. И. Лихтер.
Техн. редактор В. Р. Мандельцвейг.

А 02970. Сдано в производство 1/IV 1950 г. Подписано к печ. 8/VI 1950 г. Форм. бум. 60×92. объем $7^1/_2$ п. л. Уч. изд. 8,02. Зн. в п. л. 43616, Изд, инд. НП—1—165. Тираж 50.000. Цена 3 руб. Зак. 1198.

Отпечатано с матриц, изготовленных в типографии «Московская Правда», Москва, Чистые пруды, 8.

Типография № 2 «Советская Латвия» ЛРТПП. г. Рига. Зак. 5683.

Цена 3 руб.